elektor

audio

special 3

ZELFBOUW VERSTERKERS EN LUIDSPREKERS

€16,50

Luidsprekers voor zelfbouw o.a.:

- Mini-subwoofer met innovatie Tymphany-driver
- High-End voor bij de PC monitor
- Tweeweg vloerstaande speaker
- Tweeweg speaker met Line Array

Versterkers voor zelfbouw o.a.:

- 2 x 50 Watt EL34 Balans Stereo Versterker met Autobias
- Ontwerpregels DCMB Single Ended buizenversterkers
- Classic Two 300B Single Ended stereo eindversterker
- DIY CD-speler met puristisch karakter

03
8 710966 182956

Driving your loudspeakers to a higher end



Lees meer over het nieuwe programma op onze website.

IMPORTEUR VAN MOREL UNITS | tel. (0595) 49 17 48 fax (0595) 49 19 46

ELTIM AUDIO

info@eltim.eu www.eltim.eu



Tentlabs Audio products

High-end voor ieder budget

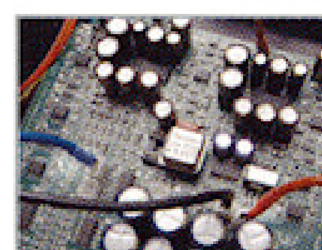
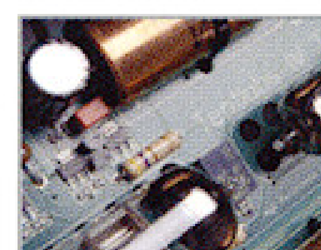


CD speler,
als kit of compleet gebouwd!

Primeur!
Tentlabs hybride versterker, als kit of compleet gebouwd

Triodes, trafogekoppeld aan moderne klasse-D uitgangstrappen; fluwelen buizenklank met eindeloze controle en dynamiek.
Een hoogwaardige afstandbediende volumeregeling loodst U op het gemak naar een moeiteloze 2 maal 250 watt uitgangsvermogen met ruime stroomreserve.

Leverbaar medio Januari 2009



www.tentlabs.com info@tentlabs.com +31 40 2130186

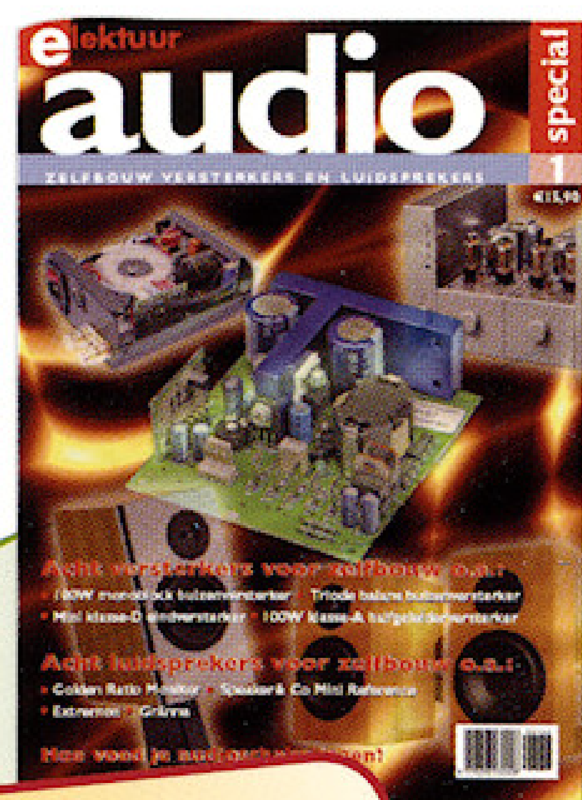
Audio Special 1

Zelfbouw versterkers en luidsprekers

Deze speciale uitgave staat vol met interessante bouwbeschrijvingen en achtergrondartikelen van internationaal gerenommeerde ontwerpers. Audioliefhebbers en zelfbouwers komen aan hun trekken met nabouwbare High-End versterkers en luidsprekers.

Een greep uit de inhoud:

- Single Ended versterker met 300B triode
- TubeSociety TS-VV-2006 voorversterker
- ScanSpeak Maxima huiskamer speaker
- 6336A Stereo triode balans eindversterker
- Reference Monitor SE luidspreker
- MinimonO: mini klasse-D versterker



Nog steeds verkrijgbaar!

100 pagina's • € 15,90

Elektor
International Media BV
Postbus 11
6114 ZG Susteren
E-mail : verkoop@elektor.nl
Internet : www.elektor.nl
Tel.: +31 (0)46 - 43 89 444
Fax: +31 (0)46 - 43 70 161

elektor electronics worldwide

Bestel nu via www.elektor.nl/shop!

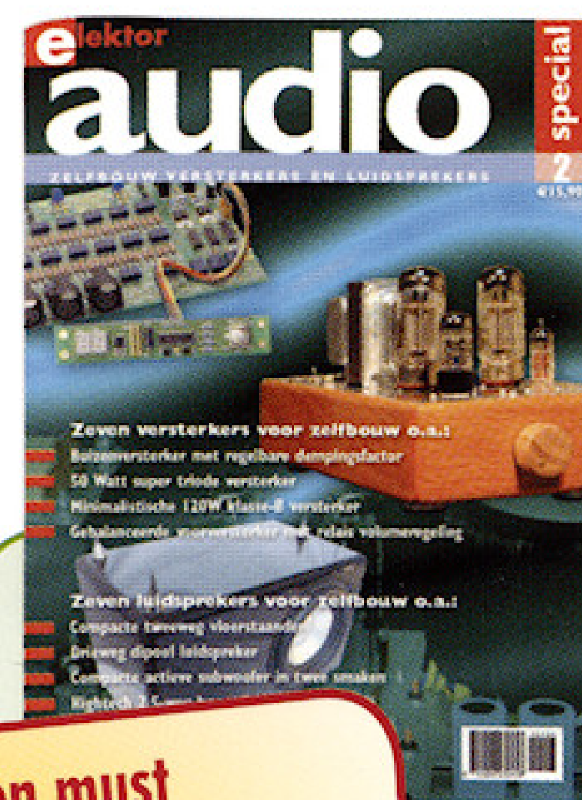
Audio Special 2

Zelfbouw versterkers en luidsprekers

De tweede Elektor Audio Special bevat bouwbeschrijvingen van vier buizenversterkers, zeven luidsprekers en drie halfgeleiderversterkers.

Met o.a.:

- 30 Watt buizenversterker met variabele dempingsfactor
- 50 Watt super triode versterker
- Origami M en C – compacte actieve subwoofer in twee smaken
- OB3W – drieweg open-baffle dipool van formaat
- MinimA – minimalistische 120W klasse-B versterker
- RelaiXed – gebalanceerde voorversterker met relais



Een must voor iedere audioliefhebber

84 pagina's • € 15,90

Elektor
International Media BV
Postbus 11
6114 ZG Susteren
E-mail : verkoop@elektor.nl
Internet : www.elektor.nl
Tel.: +31 (0)46 - 43 89 444
Fax: +31 (0)46 - 43 70 161

elektor electronics worldwide

Bestel nu via www.elektor.nl/shop!

De derde Audio Special op rij

Voor u ligt alweer de derde Audio Special die, net zoals voorgaande jaren, bol staat van de zelfbouwontwerpen. Ook dit jaar weer de inmiddels bekende mix van buizen, luidsprekers en halfgeleiders, zodat er voor iedere zelfbouwer ongetwijfeld iets interessants te lezen of te bouwen valt.

Zo treft u onder andere een diepgaand artikel aan over de vraag of buizenversterkers nu wel of niet in staat zijn microdetails weer te geven en hoe bepalend de uitgangstransformator is in deze complexe vergelijking. Daarbij komen onder andere de verschillen tussen push-pull en single-ended uitgangstransformatoren aan bod en een meetmethode om de kwaliteiten van een uitgangstransformator te kunnen beoordelen.

Een andere belangrijke factor in het ontwerp van een buizenversterker zijn uiteraard de hierin gebruikte buizen. Niet zelden zorgt een ongelijkheid tussen vooral de buizen in de eindtrap voor een toename in de harmonische vervorming of een afname van de lineairiteit. Daarom in deze derde editie van de Audio Special een ontwerp voor een dubbele buizentester. Daarmee kunt u als hobbyist eindelijk uw buizen exact vergelijken en vervolgens paren. Daarnaast een tweetal ontwerpen voor een buizeneindversterker en een achtergrondartikel met ontwerpvoorbeelden voor een buizenversterker zonder condensatoren in de signaalweg.

Wat luidsprekerontwerpen betreft ook dit jaar weer een breed aanbod, variërend van een luidspreker met Hifi aspiraties voor bij de PC tot een line-array met maar liefst acht ringradiator tweeters. Maar bijvoorbeeld ook een zeer compacte subwoofer op basis van de hagelnieuwe lineair array transducer; een subwoofer driver met een zeer unieke opbouw en prestaties. Als krenten in de pap twee vloerstaande luidsprekers en een tweeweg monitor luidspreker met een niet alledaagse driver bezetting.

Maar ook op het gebied van halfgeleiders een aantal interessante artikelen. Zo komt de Tentlabs DIY CD-speler uitvoerig aan bod; een zelfbouwkit voor een CD-speler met een wel zeer eigenzinnig karakter. Ook kijken we naar twee andere nieuwe producten van Nederlandse bodem, namelijk de nieuwe schakelende audio voeding van Hypex en de zojuist geïntroduceerde 2kW klasse-D versterker.

De auteurs van de Audio Special, de eindredactie en Elektor wensen u veel lees-, bouw- en uiteindelijk luisterplezier met deze derde Audio Special.

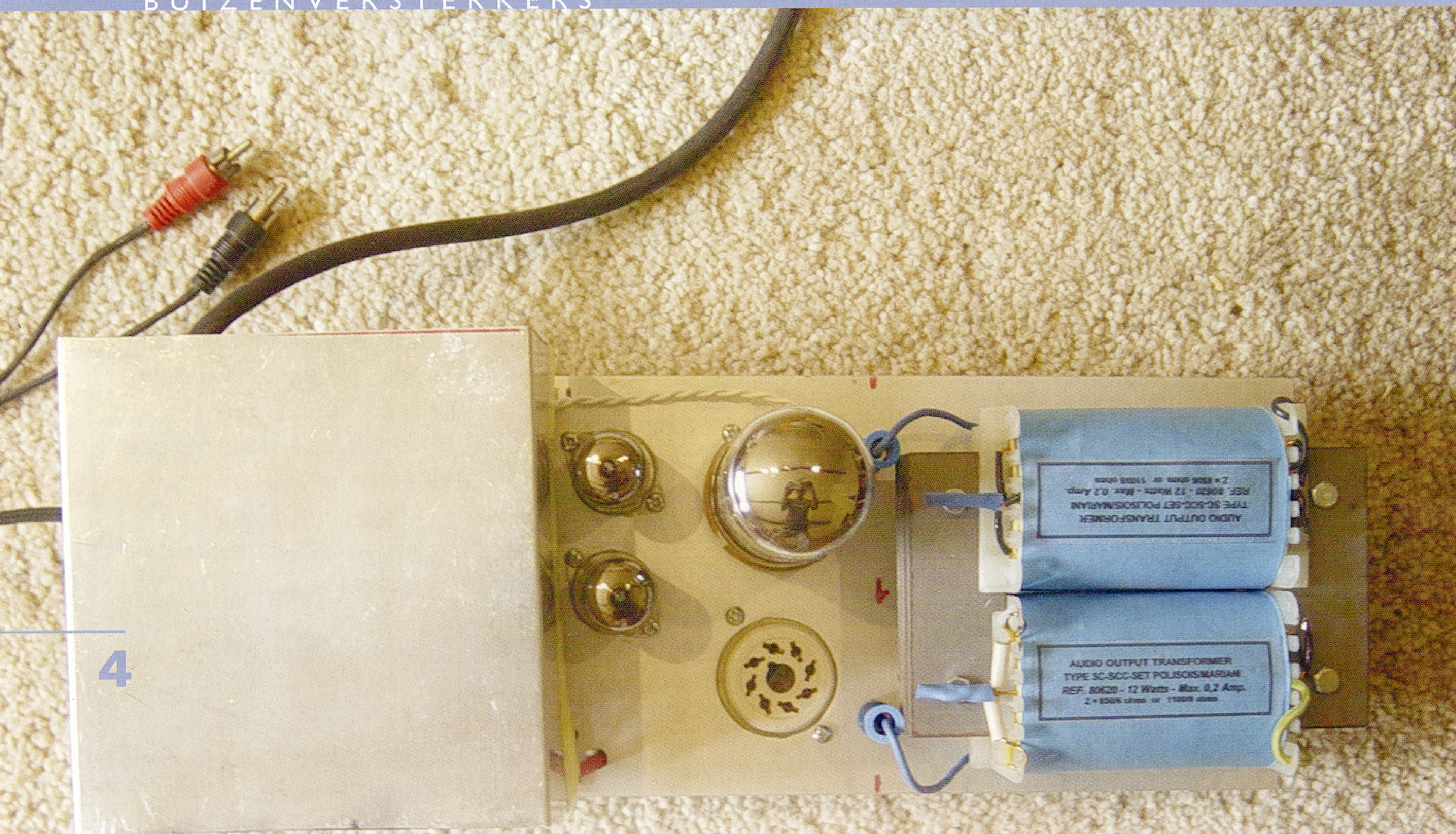
ir. Sander Sassen
ir. Menno van der Veen

Elektor Special Audio 3, December 2008

BUIZENVERSTERKERS

LUIDSPREKERS

HALFGELEIDERVERSTERKERS



Ontwerpregels voor

DCMB Single Ended buizenversterkers

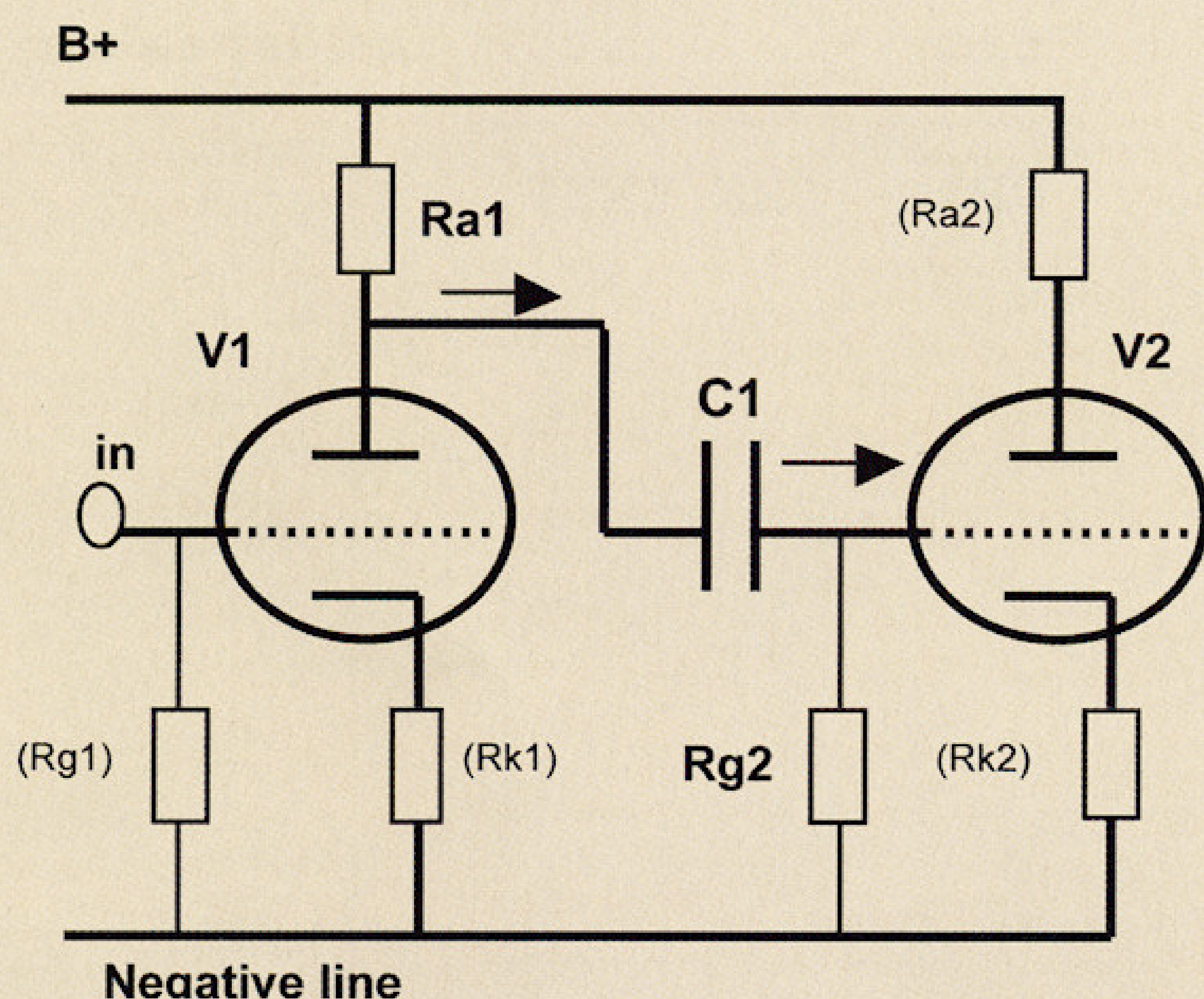
DOOR ARI POLISOIS

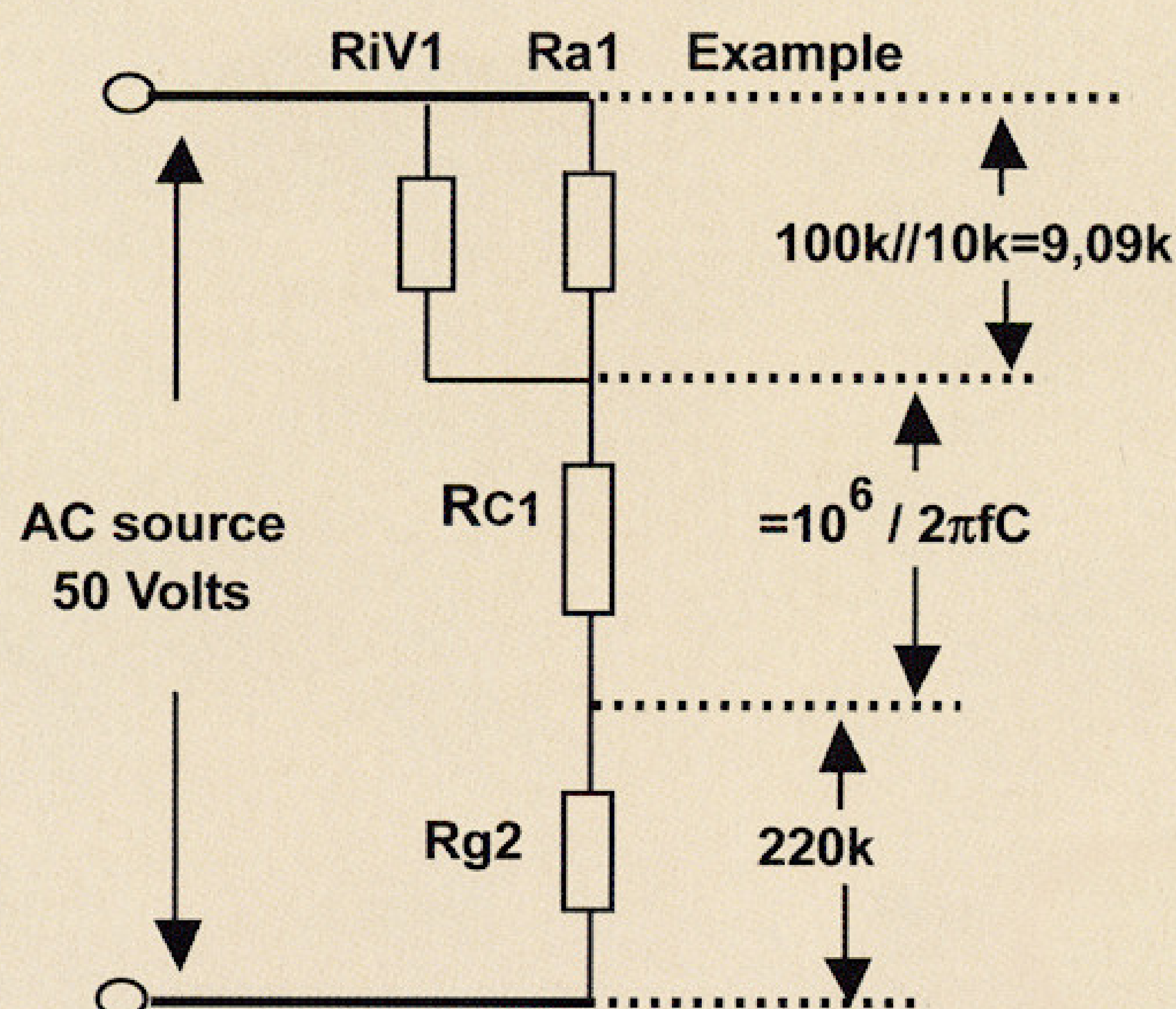
Ari Polisois (Frankrijk) beschrijft in dit artikel een single ended buizenversterker zonder condensatoren in de signaalweg. Deze zogenaamde DCMB-schakeling munt uit door eenvoud en een minimum aan componenten. De algemene ontwerpregels worden behandeld waarmee men het DCMB principe aan eindbuizen met geschikt uitgangsvermogen kan koppelen.

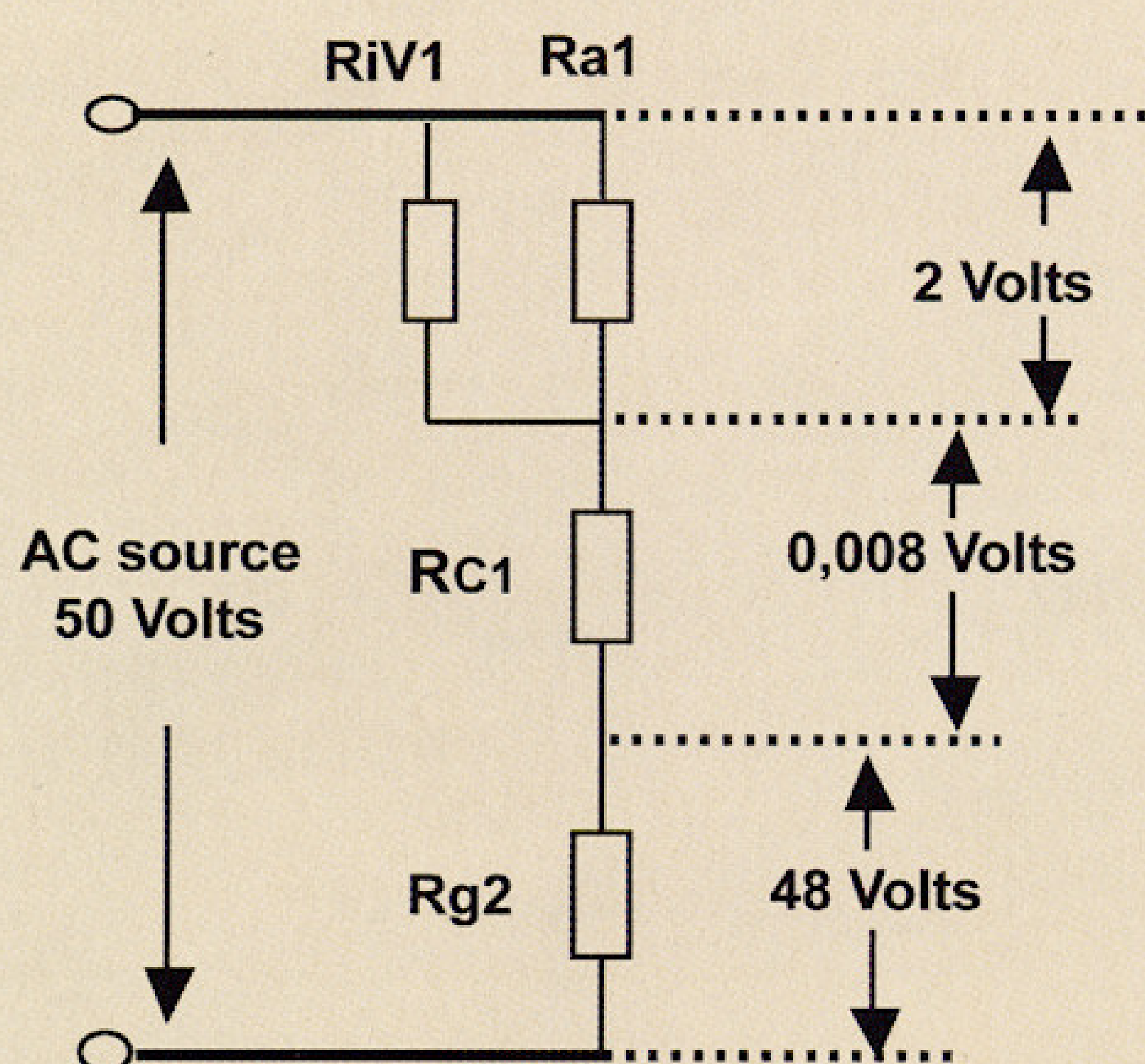
Dit artikel beschrijft SE-versterkers zonder condensatoren in de signaalweg, slechts twee buffercondensatoren worden in de voeding gebruikt. Waarom doe ik al die moeite om een schakeling zonder condensatoren te maken? Omdat naar mijn idee condensatoren schadelijk zijn voor de ultieme geluidskwaliteit, ze tasten het geluid aan. Over dit onderwerp is veel gediscussieerd. Ook Menno van der Veen (1) analyseerde onlangs a-lineair gedrag in condensatoren doordat de afstand tussen de geleidende platen in die condensator kan wijzigen. Als je al condensatoren toepast, moeten ze van uitstekende kwaliteit zijn, en de bijbehorende prijs is navenant hoog. Daarom ben ik al jaren bezig met schakelingen te ontwikkelen waarin geen condensatoren zitten. Het scheelt in mijn beurs en ik hoef niet bezorgd te zijn over de vele nadelige effecten van condensatoren.

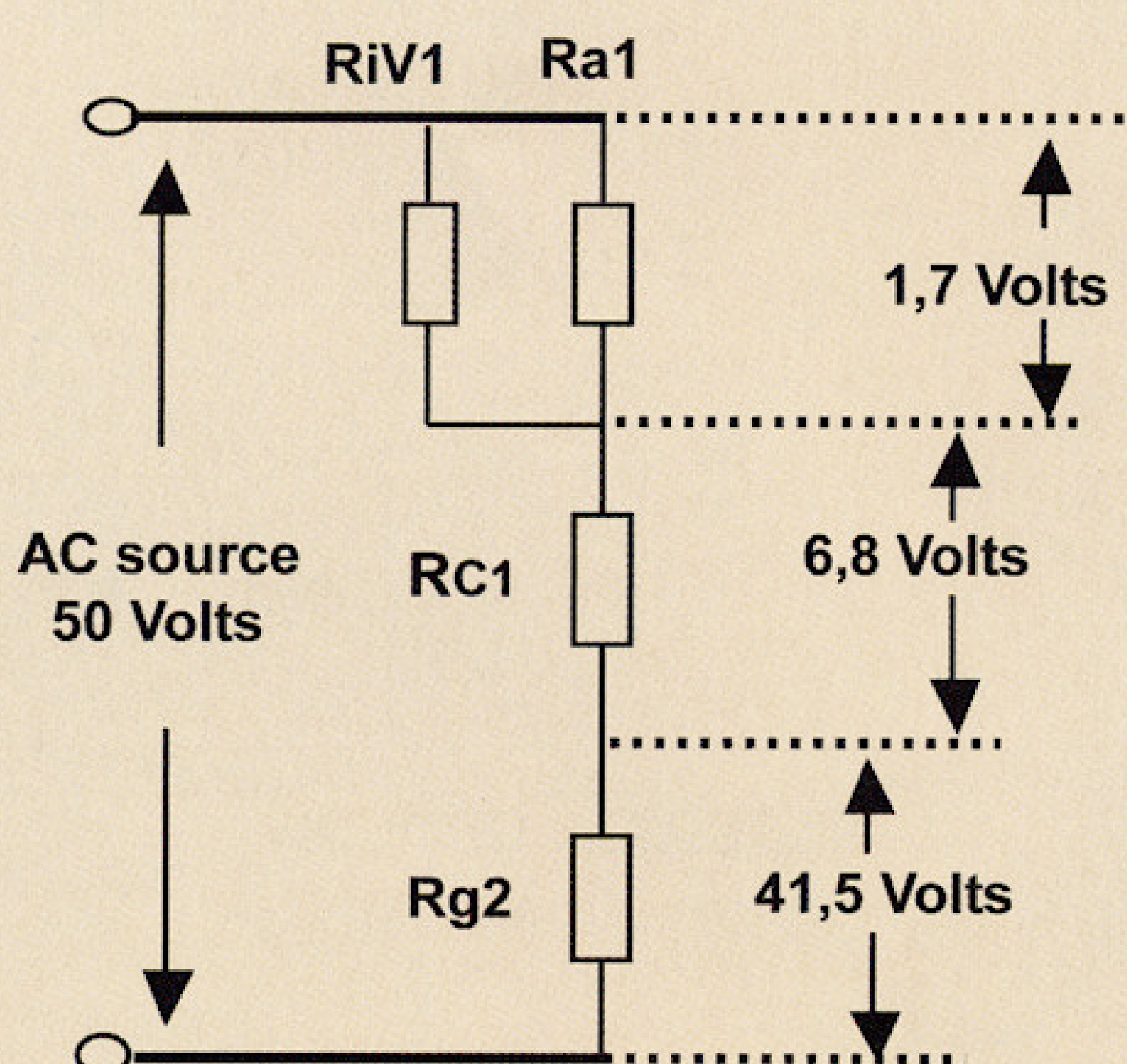
Als je condensatoren weglaat moet je wel het een en ander opofferen. Maar je krijgt er een aanzienlijke aantal verbeteringen voor terug. Het algemene commentaar dat ik hoor van luisteraars over mijn versterkers is: “het klinkt luchtig en doorzichtig en toch ook heel substantieel stevig”. We weten allemaal dat de perfecte audioversterker nog niet bestaat. Wat we zo langzamerhand leren is welke oplossingen wel en welke niet werken. De lijst van zaken die we niet moeten doen is eigenlijk niet

VOLTAGE DIVISION OF A SET OF RESISTORS AND A CAPACITOR









Figuur 1a
Voorbeeld van toepassing van koppelcondensator

Figuur 1b
Vervangingsmodel van figuur 1-a

Figuur 1c
Impedantieverhoudingen bij 20 kHz

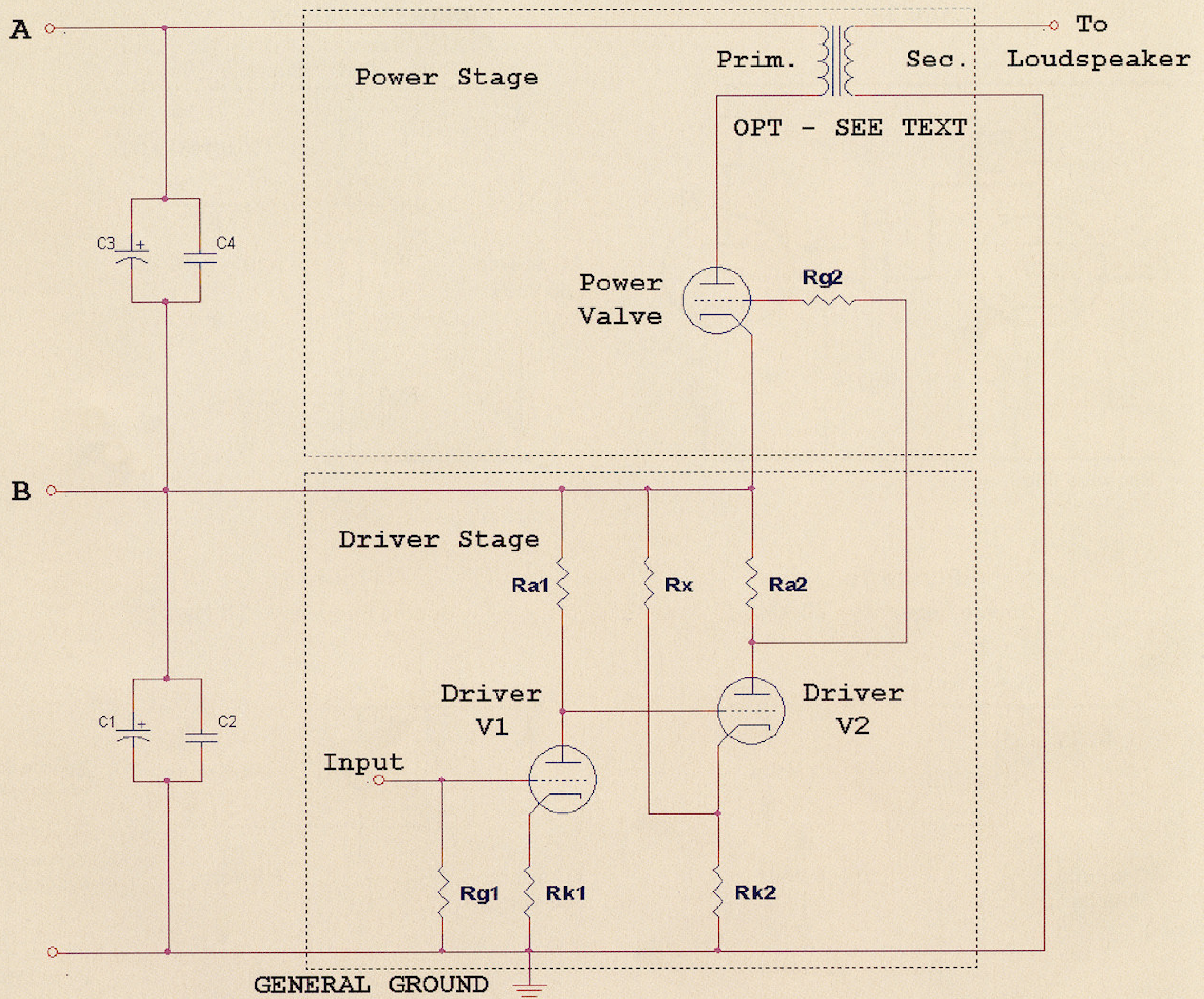
Figuur 1d
Impedantieverhoudingen bij 20 Hz

zo heel lang. Ik bespreek ze in dit artikel en ik focus daarbij nu op de condensator.

Problemen van condensatoren

Condensatoren gedragen zich verschillend bij lage en hoge frequenties. De impedantie ervan wijzigt volgens $Zc = 1 / (2\pi fC)$ met de frequentie. Hierin is Zc de wisselstroomweerstand (impedantie) van de condensator, f is de frequentie in Herz en C de capaciteit in Farad. Neem als voorbeeld het hoorbare frequentiebereik van 20 Hz tot 20 kHz. De impedantie van een 220 nF condensator wijzigt in dit gebied van 36000 tot 36 Ohm. Wanneer in een schakeling een audiosignaal door zo'n condensator wordt geleid, gaat de condensator een wisselende invloed hebben op de mate waarin de spanningen over de weerstanden van het circuit worden verdeeld. Zie figuur 1a met de schematuur van twee versterkertrappen waarbij de versterkte wisselspanning zich verdeeld over de koppelcondensator en de stuurroosterweerstand van de volgende trap. De componentwaardes in dit schema zijn hele normale waardes die in de praktijk vaak voorkomen.

In figuur 1b staat de vervangingsschematuur. De eerste trap is vervangen door een spanningsbron V1 met daarmee in serie de inwendige weerstand Rv1 van de eerste buis, parallel gedacht aan de anodeweerstand Ra1 van de eerste trap. In het hier gebruikte voorbeeld staat effectief een weerstand van 9,09 kOhm in serie met de spanningsbron. Tevens staat de impedantie van de condensator hiermee in serie en dan volgt er stuurroosterweerstand van 220 kOhm naar aarde. Figuur 1c laat zien hoe de impedanties zich onderling verhouden bij 20 kHz en in figuur 1d is dit gedaan voor 20 Hz. In grafiek-1 wordt doorgerekend hoeveel spanning als functie van de frequentie effectief aan komt bij het stuurrooster van de tweede versterkertrap. Bij 20 kHz gaat 4% van de aangeboden spanning door de condensator verloren, terwijl bij 20 Hz het verlies 17 % bedraagt. Dit verlies is aanzienlijk en klinkt alsof je de lage frequenties met een toonregeling wegdraait. Ons oor kan het ontbreken van dat diepe basgeluid goed waarnemen.



Figuur 2
Algemene DCMB schakeling van de versterker

Gedrag bij hoge frequenties

Als door condensatoren de hoge frequenties worden verzwakt, gaat het geluid doffer klinken; alsof het uit een nabijgelegen kamer komt. Daarom is het bij versterking zo wezenlijk dat iedere frequentie onverzwakt wordt doorgegeven. Doe je dat niet dan wijk je af van de realiteit. Verzwakking bij hoge frequenties ontstaat als er parallel aan de belasting (dat kan de luidspreker of een volgende versterkertrap zijn) een capaciteit aanwezig is. Een van de bekendste capaciteiten is bij buizenversterkers de zogenaamde Miller capaciteit in de versterkerbuis zelf, waardoor hoge frequenties verzwakt worden. Ik wil aan bovengenoemd probleem nog een belangrijke factor toevoegen. Het is wezenlijk om op normaal en microsignaal niveau met een constante frequentie onafhankelijke versterking te werken, anders verlies je zeer zwakke, maar toch uiterst wezenlijke informatie. De versterking mag dus niet met de luidheid van de muziek wijzigen. Lees daartoe (2) voor meer details.

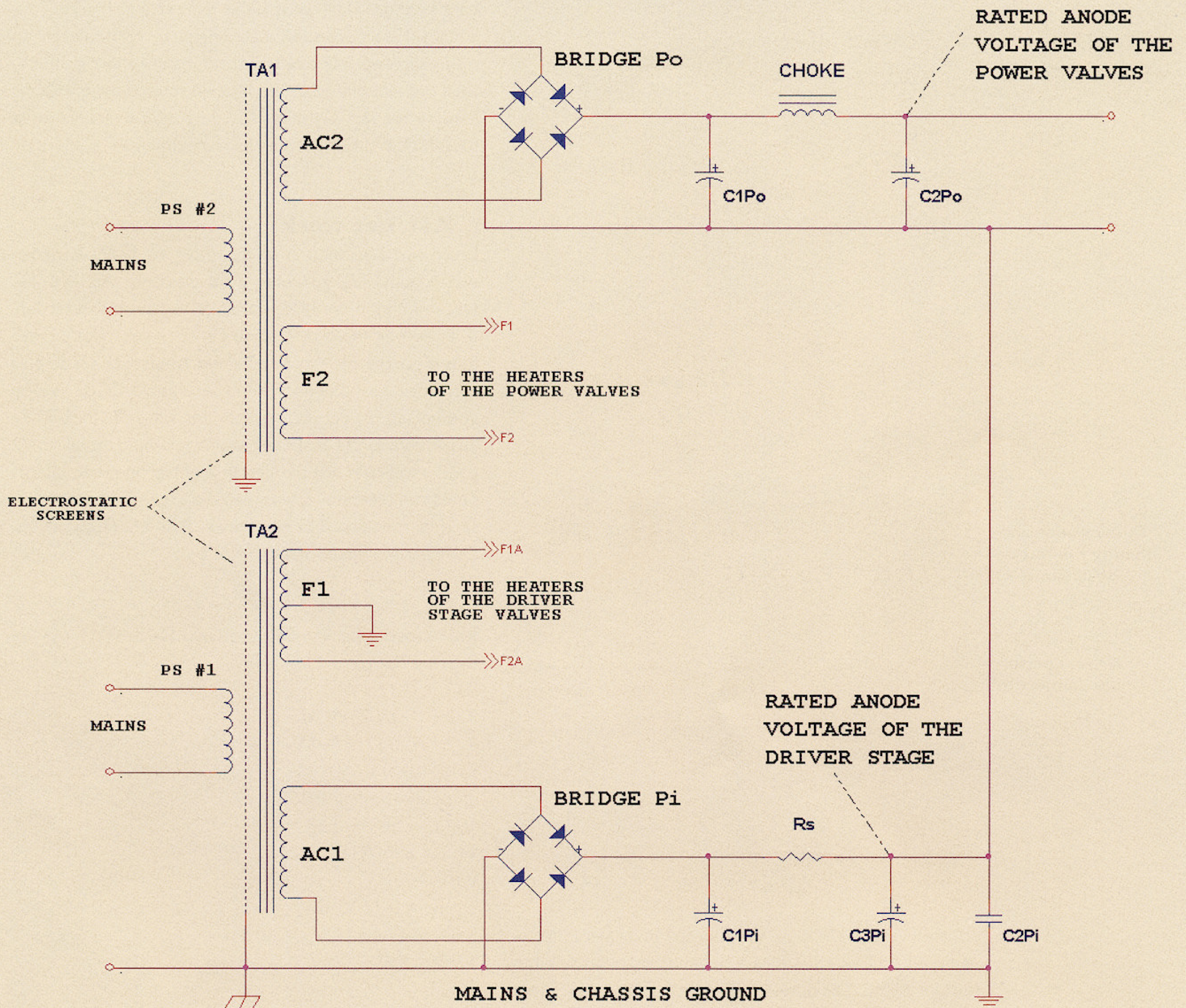
Ik heb hierboven slechts inleidend aangetipt waar we rekening mee moeten houden als we een nieuw ontwerp maken. Problemen kunnen we daarin misschien met compromissen oplossen, maar die hebben ook weer hun nadelen. Ik pleit er voor om juist geen compromissen aan te gaan. Dat is geen gemakkelijke weg, maar het uiteindelijke resultaat is dat men van het begin af aan schoon werkt en een uiterst transparant geluidsbeeld als beloning krijgt.

Directe koppeling

De bekendste schakeling van een versterker zonder koppelcondensatoren is de beroemde Loftin and White. Enige jaren geleden ontwikkelde ik mijn eigen alternatief, de zogenaamde DCMB schakeling (= Direct Coupled Modulated Bias, zie (3)). Hierin zijn niet alleen koppelcondensatoren afwezig, maar is er ook een scheiding tussen de voeding van de stuurbuizensectie en de voeding van de eindbuis. Door deze scheiding kun je de eigenschappen van iedere sectie onafhankelijk van de andere sectie wijzigen en optimaliseren

De schematuur

Figuur 2 toont de schematuur van mijn DCMB versterker. Opvallend is dat er heel weinig componenten nodig zijn, wat aansluit bij mijn filosofie: "hoe minder componenten, hoe beter". De weerstanden worden aangeduid

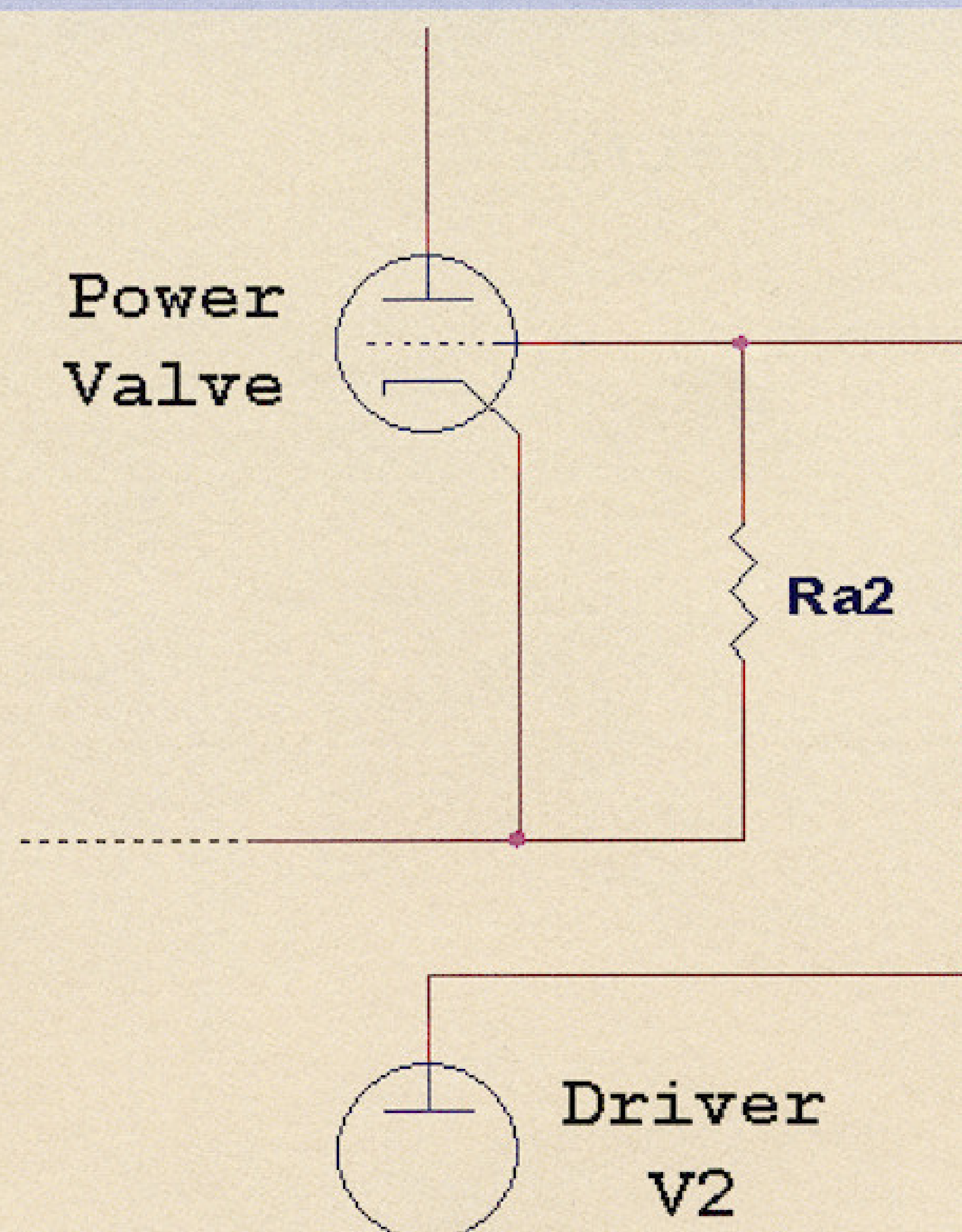


Figuur 3
Algemene DCMB schakeling van de dubbele voeding

met hun taak en plaats. Bijvoorbeeld is Rk1 de kathodeweerstand bij buis V1, Ra1 hoort bij de anode van buis V1, enzovoort. De buisjes V1 en V2 zorgen voor de voorversterking om de eindbuis V3 volledig aan te kunnen sturen. De grootte van die stuurspanning moet ongeveer gelijk zijn aan de negatieve bias voorspanning op het stuurrooster van de eindbuis. Neem als voorbeeld voor V3 de 2A3. Bij die buis staat de bias meestal in de buurt van -45 V. Dan is er een stuursignaal met een amplitude van 43 tot 44 V nodig (= 31 Vrms). Stel dat we een ingangsgevoeligheid (aan de ingang van de versterker) van ongeveer 0,7 Vrms willen hebben, dan moeten V1 en V2 samen een versterking van 31 / 0,7 = 44 maal leveren. Stel we gebruiken voor V1 en V2 een 6SN7GT buis, dan zal V1 een versterking van ongeveer 8 - 9 maal hebben. Dan hoeft V2 vervolgens nog maar ongeveer 3,6 maal te versterken. Verderop zal ik twee groepen eindbuizen noemen. De eerste groep heeft een bias op het stuurrooster nodig die kleiner is dan 50 V. Bij de tweede groep behandel ik eindbuizen die meer dan 50 V bias nodig hebben. Per groep zal de benodigde versterking van V1 en V2 anders zijn. Voordat ik daar in duik, wil ik nu eerst behandelen hoe de DCMB schakeling werkt.

DCMB eigenschappen

Een opvallende component in het schema van figuur 2 is de weerstand Rx. Deze weerstand gaat straks extra stroom door Rk2 sturen. Verder valt in het schema op dat er twee voedingen zijn (zie figuur 3). De ene is voor de eindtrap rondom V3 (Tussen de punten A en B) en de andere voor de voortrap V1 en V2 (tussen aarde en B). De twee voedingen staan in serie met elkaar op punt B. Door deze schakelwijze ontstaan er twee rondgaande stroomcirkels die elkaar onderling niet beïnvloeden. De eindbuisstroom circuleert in het A-B pad en de voortrapstroom circuleert in het aarde-B pad.
Tussen de twee secties is er slechts één signaal dragende hoofdverbinding en die loopt vanaf Ra2 via een stopweerstandje Rg2 (deze voorkomt oscillatie) naar het rooster van de eindbuis. In figuur 4 is dat stukje zonder Rg2 iets anders opnieuw getekend. Daar is zichtbaar dat Ra2 direct gekoppeld is tussen de kathode en het stuur-



Figuur 4
Detail van de aansluiting van Ra2 op de eindbuis V3

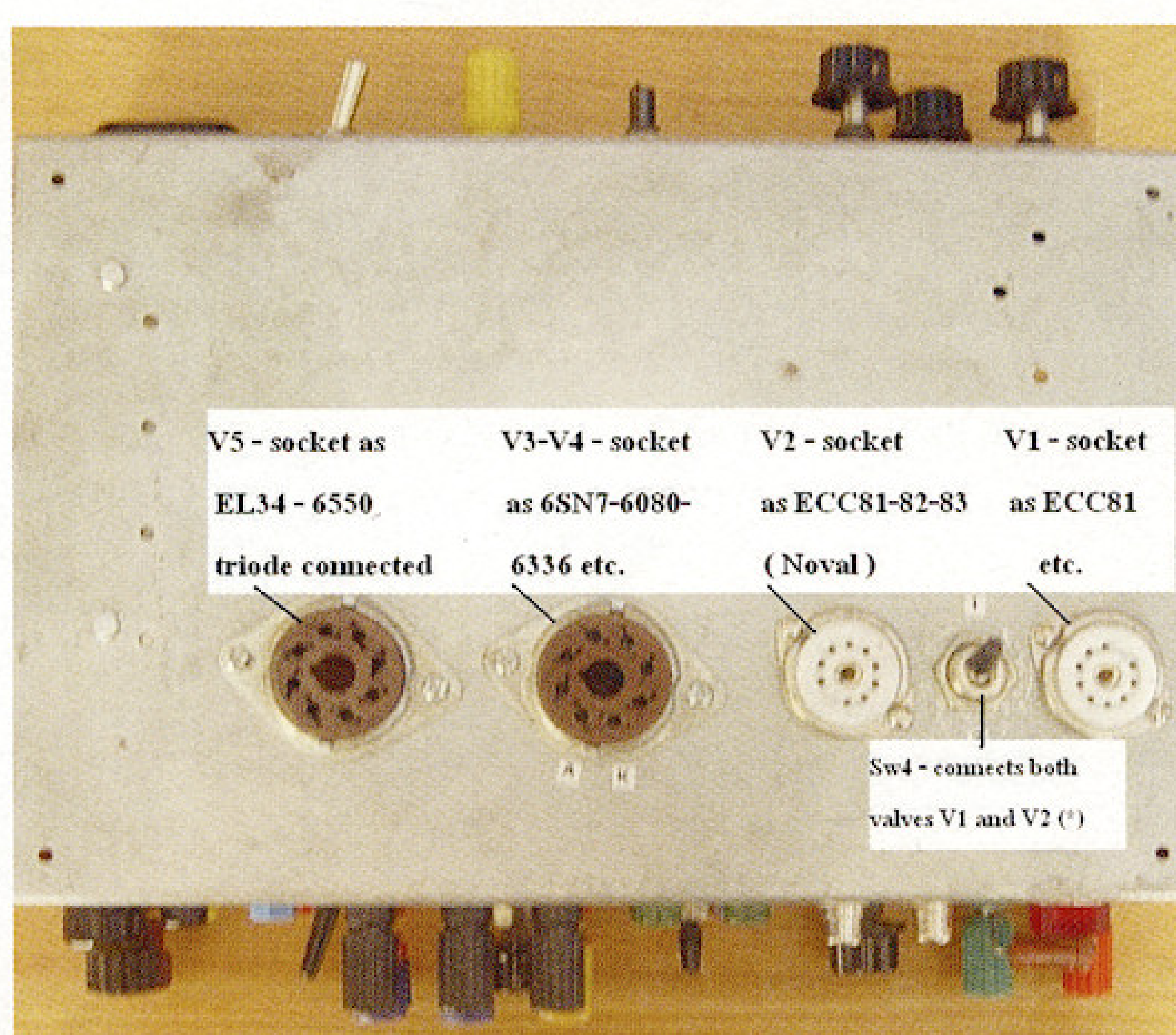


Foto 2
Drivers performance simulator

rooster van de eindbuis V3. Alle spanningsveranderingen over Ra2 worden direct ongewijzigd naar de eindbuis gestuurd. Dit betekent dat Ra2 twee taken moet verrichten. De spanning erover moet de noodzakelijke negatieve bias voor de eindbuis leveren. Ook moet de wisselspanning over Ra2 voldoende groot zijn om de eindbuis volledig uit te sturen. Zie (3) voor meer details over deze schakelwijze.

Praktische hulpmiddelen

Voordat ik verder ga met uitleggen wil ik eerst iets zeggen tegen de zelfbouwers die direct aan de slag willen. Ik ga er van uit dat deze voldoende bouwervaring hebben en goed weten hoe ze zich tegen de hoogspanningen in deze versterker moeten beschermen. Nabouwen is niet moeilijk, maar de ervaring heeft mij geleerd dat velen ook nog hun eigen opvattingen in de schakeling willen verwerken. Dan moet je experimenteren en ook ik heb dat gedaan. Daarvoor heb ik een uiterst praktische kast ontwikkeld (zie foto 2) waarbij ik de weerstanden van de versterker uitgevoerd heb met instelbare draadgewonden potentiometers. Ik noem dit kastje de "Drivers performance simulator". Per buis, kun je de schakeling dan optimaliseren en het grote voordeel van deze benadering is dat je met de echte karakteristieken van de buizen werkt. Je gebruikt hun echte specificaties en niet de vaak matig kloppende karakteristieken uit de handboeken. Daarnaast helpt mijn vriend Pierre Touzelet (4) de gevonden instellingen te controleren en optimaliseren. Hij heeft bijzondere rekenprogrammatuur ontwikkeld waarmee hij mijn schakelingen volledig kan narekenen. Opvallend is de goede overeenkomst tussen mijn metingen en zijn berekeningen.

Aan het werk

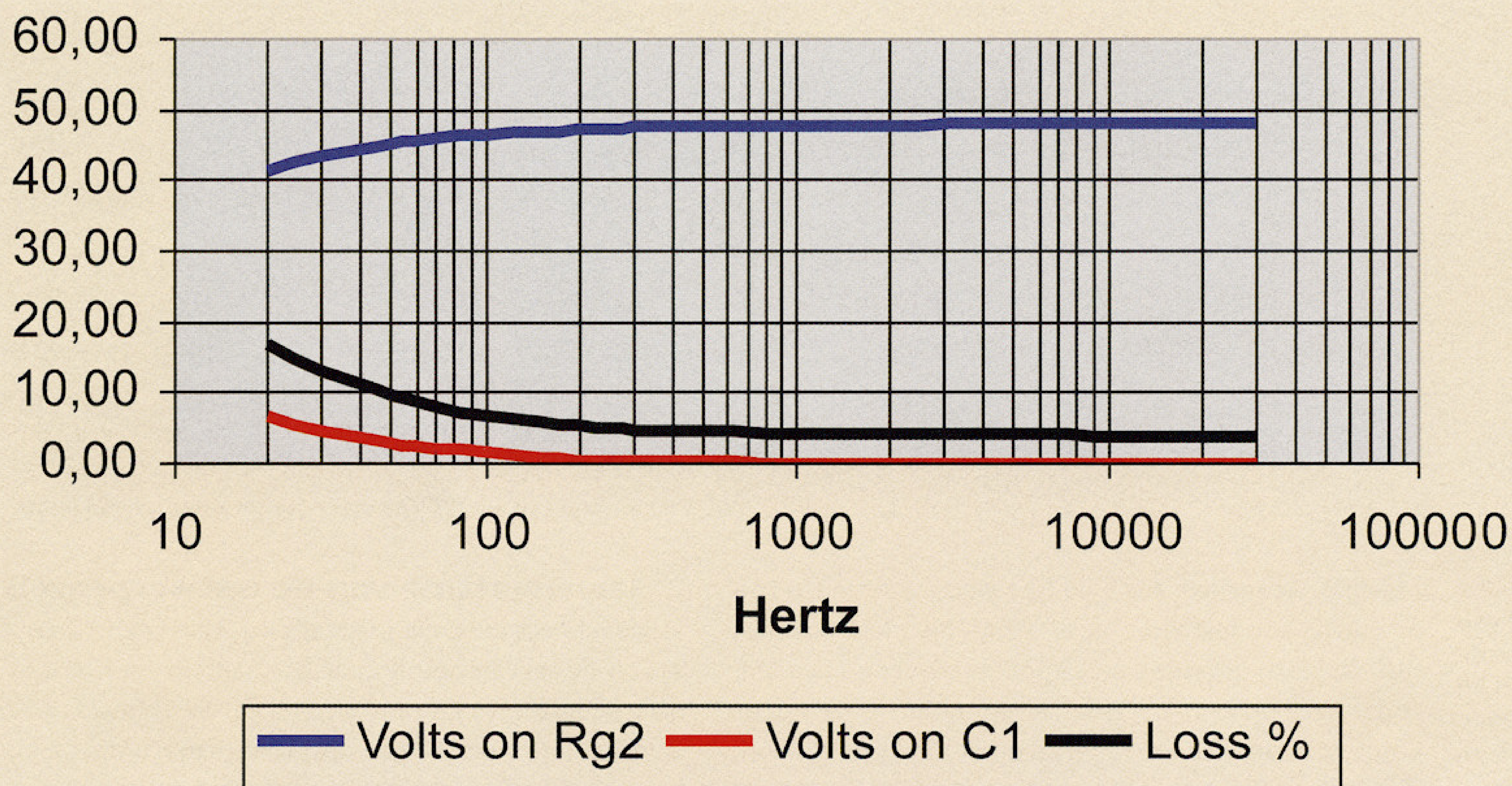
Laten we beginnen met de vraag te beantwoorden welke eindbuis gebruikt gaat worden. Als we dat weten kunnen we kijken naar de weerstandswaarden. Ik adviseer om voor V1,2 de 6SN7 te gebruiken. Deze buis is goed verkrijgbaar en klinkt fantastisch en de buis kan hoge spanningen verwerken. Een ECC82 is ook goed en als je veel voorversterking wilt is de ECC83 de juiste keuze. De instelling van V1 is niet moeilijk; V2 goed instellen is wat pittiger. Ik geef hieronder een voorbeeld van weerstandswaarden die ik gebruik in een versterker met een 845 eindbuis en een 6SN7 stuurbuis, De waardes die ik dan gebruik zijn:

Ra1 = 220k / 2W
Rk1 = instelbaar van 900 tot 1200 Ω / 1/4W
Rg1 = 220k tot 1 Meg 1/4W.
Ra2 = 11k / 4W
Rk2 = 1k2 / 25W
Rg2 = 220 Ω/ 1/4 W
Rx = 10k / 50W
eindbuis voeding = 350 V
Stuursectie voeding = 420 V
V1,2 = 6SN7GT
V3 = 845
Ingang = 0,77 Vrms
Stuurspanning bij V3 = 60 Vrms
THD = 0,6%

Zie tabel 2 voor de instelling met andere eindbuizen. Als extra voorbeeld noem ik een kleine versterker die ik met de 6080 (bias op -50 V) en de 6336 (bias op -45 V) dubbel triode eindbuizen maakte met een eindbuis voeding tussen A en B van 130 respectievelijk 150 V. Hij leverde een vermogen van 3 respectievelijk 5 Watt per kanaal. De stuurbuis was een ECC82 met een voeding van 300 V. De foto op pagina 4 toont het prototype van deze miniatuurversterker. De versterker is zo klein mogelijk opgebouwd, onder het chassis is het een drukte van belang, maar dat doet geen enkele afbreuk aan de open geluidskwaliteit van dit micromonster, die ik "Ampli Timido" gedoopt heb.

Component waardes en voedingsspanningen

Om de zaak niet ingewikkeld te maken beperk ik me tot één type stuurbuis, namelijk de 6SN7GT. Wat wezenlijk is voor de instelling van deze buis is de negatieve biasspanning die de eindbuis V3 op zijn stuurrooster nodig heeft. Deze spanning is gelijk aan de stroom door V2 vermenigvuldigd met Ra2. De stroom door V2 ligt in alle schakelingen tussen 5 en 6 mA. Deze hangt af van de anodespanning bij V2 en de manier waarop V1 is



Grafiek 1
Verlies over koppelcondensator als functie van de frequentie

ingesteld. Om dit hanteerbaar te maken heb ik voor alle versterkerschakelingen V1 steeds op dezelfde manier met dezelfde Rk1 en Ra1 waardes ingesteld. De spanning op de anode van V1 behoort tussen 25 tot 60 V te liggen en deze spanning hoort wat lager te zijn dan de spanning over Rk2. Hoe bereiken we dit? Stel we werken met een voedingsspanning tussen 350 en 420 V voor de stuursectie. Als Ra1 dan een waarde heeft tussen 180 en 330 kOhm, dan is de spanningsversterking van V1 ongeveer 12 tot 15 maal, en dat is wel het maximum wat we kunnen verwachten, rekeninghoudend met het m-bereik van de 6SN7 (afhankelijk van het fabrikaat ligt µ tussen 17 en 20).

De spanning die in rust (bij geen ingangssignaal) over Rk1 behoort te staan, moet minstens 30% groter zijn dan de amplitude van de maximale ingangsspanning. Nemen we als voorbeeld een signaalbron met een uitgangsspanning van 0,7 Vrms (= 1 V amplitude) , dan moet de spanning over Rk1 dus minimaal 1,3 V bedragen. In de praktijk wordt deze situatie bereikt als Rk1 een waarde krijgt tussen 1 en 1,7 kOhm. Een en ander hangt natuurlijk af van de voedingsspanning en de waarde van Ra1, maar tabel 1 geeft goede richtwaardes voor de optimale keuze van Rk1. In de praktijk kan men dit gemakkelijk testen door alleen V1 op de voeding aan te sluiten en dan Rk1 regelbaar te maken en zo af te stemmen dat er ongeveer 1,3 V over komt te staan en dat de anodespanning van V1 tussen 25 en 60 V komt te liggen.

Mochten de gewenste spanningen niet bereikt worden, dan helpt de volgende regel: als Ra1 groter gekozen wordt en/of Rk1 kleiner gekozen wordt, dan daalt de anodespanning van Va1.

Stel nu, dat we V1 met Rk1 en Ra1 zo ingesteld hebben, dat de anode van V1 een spanning heeft van 50 V ten opzichte van aarde. In de schematuur is zichtbaar dat deze 50 V rechtstreeks terecht komt op het rooster van V2. Nu zijn er extra maatregelen nodig om de spanning tussen de kathode en het stuurrooster van V2 klein te maken, anders verbrandt V2 ogenblikkelijk. Eigenlijk moet nu de kathode van V2 op een spanning komen te staan van ongeveer 57 V zodat het stuurrooster van V2 ongeveer 7 V negatiever is dan spanning op de kathode van V2. Hoe kunnen we die situatie bereiken?

Eén van de oplossingen is om Rk2 een redelijk grote waarde te geven. We weten al hoeveel stroom door V2 loopt (6 mA). We weten ook hoeveel spanning over Rk2 behoort te staan (57 V). De waarde van Rk2 is dan 57V / 6mA = 9500 Ohm.

Hier ontstaat echter een probleem uit onverwachte hoek. Tabel 1 geeft aan dat de anodeweerstand Ra2 van V2 een waarde behoort te hebben van ongeveer 10 kOhm. Tevens behoort V2 de wisselspanning ongeveer 3 tot 5 maal te versterken. Met de grote Rk2-waarde die we nu hebben berekend kan nooit aan die versterkingsvoorwaarde worden voldaan. De versterking van V2 wordt door de grote waarde van Rk2 ongeveer 1 maal en dat is echt te weinig. We moeten dus Rk2 kleiner kiezen en toch blijven voldoen aan de eis dat de spanning over Rk2 57 V blijft.

Nu komt Rx op de proppen. Deze weerstand is rechtstreeks verbonden tussen de voedingsspanning van de stuursectie en de kathode van V2. De functie van Rx is om extra stroom door Rk2 te sturen, waardoor de spanning van de kathode van V2 toch op de gewenste waarde van 57 V komt, terwijl we Rk2 zelf een veel lager ohmage dan de berekende 9500 Ohm hebben gegeven. Stel dat we Rk2 een waarde geven van 1,5 kOhm. Over Rk2 hoort een spanning te staan van 57 V. Er moet dus een stroom van 57 V/1,5 kOhm = 38 mA door Rk2 gaan vloeien. De buis V2 zelf stuurt 6 mA door Rk2. Dan moet Rx dus 32 mA extra door Rk2 sturen. Stel gebruiken een voedingsspanning van 300 V. De spanning over Rx bedraagt dan 300 - 57 = 243 V. De waarde van Rx wordt dan 243 V / 32 mA = 7,6 kOhm en zijn vermogen moet 243 V x 32 mA = 8 Watt bedragen. In de tabel geef ik een richtwaarde voor Rx van 10 kOhm met een vermogen van 50 W aan. Die 50 W is overgedimensioneerd, maar ik heb nogal wat van die weerstanden op voorraad liggen, vandaar.

Door Rk1 en Ra1 instelbaar te maken kan men de buizen zo instellen dat aan alle genoemde voorwaardes wordt voldaan. De slimste benadering is om alleen Rk1

	for a driver unit using the 6SN7GT)								approx.value	approx.value
Tube type	Category	Driver B+	Rg1			Ra1(+/-20%)	Ra2	Rx	for Rk1	for Rk2
EL34 Triode mode	1	300V	47k	to	270k	330k	8k2/2-4W	10k/50W	1k/1/4W	1k25/5W
6336	1	300V	47k		270k	330k	8k2/2-4W	10k/50W	1k/1/4W	1k25/5W
6080	1	300V	47k		270k	330k	8k2/2-4W	10k/50W	1k/1/4W	1k25/5W
2A3	1	300V	47k		270k	330k	8k2/2-4W	10k/50W	1k/1/4W	1k25/5W
300B	2	400V	47k		270k	270k	10k/2-4W	10k/50W	1k5/1/4W	1k25/5W
6C33C-B	2	400V	47k		270k	270k	10k/2-4W	10k/50W	1k5/1/4W	1k1/5W
211	2	400V	47k		270k	270k	10k/2-4W	10k/50W	1k5/1/4W	1k1/5W
845	2	420V	47k		270k	270k	11k/2-4W	10k/50W	1k5/1/4W	1k1/5W

Tabel 1
Voorbeeld van waardes van de componenten bij verschillende eindbuizen

regelbaar te maken. Als men Rk1 wat groter kiest, dan neemt de anodestroom door V2 af. Men kan dus met Rk1 de juiste negatieve bias voor de eindbuis instellen, zodat deze op zijn voorgeschreven optimale werkpunt komt te staan. De manier waarop ik dat in de praktijk doe is voor Rk1 een iets te grote waarde te kiezen, en aan Rk1 parallel een instelpotentiometer te plaatsen, zodat ik gemakkelijk de optimale instelling kan afregelen.

Samenvatting

Ik bied op voorhand mijn excuses aan dat ik zoveel woorden gebruikt heb om de eenvoud van de DCMB-schakeling uit te leggen. Toch heb ik dat bewust gedaan om de nieuwkomers in buizenland ook een kans te geven om zich deze techniek eigen te maken. Met de hier gegeven uitleg, die ik straks nog in een aantal basisregels samenvat, moet er ruim voldoende informatie beschikbaar zijn om zelf je eigen DCMB-schakeling te ontwerpen.

Wat ik bewust niet behandeld heb is de instelling van V3 en welke uitgangstrafo je daar nodig hebt. In (5) wordt dit uitvoerig behandeld. Mijn focus is nu uitsluitend gericht op de DCMB instelling.

De bijzondere functie van Rx, waarmee extra stroom door Rk2 gestuurd wordt, kan ook omzeild worden. Stel dat je Rk2 wel gelijk neemt aan de berekende hoge waarde van 9500 Ohm, en vervolgens Rx weg laat, en over Rk2 een elco (100 uF) plaatst. Dan heeft voor alle audiofrequenties Rk2 plus elco een voldoende lage impedantie om de versterkingsfactor van V2 groot genoeg te maken. Zo'n compromis wilde ik echter niet toepassen. Ik wens geen condensatoren in de signaalweg, ook niet een elco parallel aan Rk2. Dan is Rx de oplossing die er voor zorgt dat de impedantie van Rk2 laag genoeg is om V2 voldoende te laten versterken.

De 6SN7 is een uitstekende voorversterkerbuis als men eindbuizen met een hoge bias gebruikt (categorie 2). De versterkingsfactor van de 6SN7 is voldoende groot om de benodigde voorversterking te bereiken. De bijbehorende weerstanden (zie tabel 1) zijn het resultaat van de ervaring van jaren, meestal kom ik op de aldaar gegeven waardes uit. Bij eindbuizen met een kleine bias kan men ook goed met de ECC82 uit de voeten. Wil men de ingangsgevoeligheid verlagen tot ongeveer 200 mV dan is de ECC83 de juiste keuze.

Samenvatting van de ontwerpregels

1) kies de eindbuis die je graag zou willen gebruiken
2) volg de aanwijzingen van de fabrikant op voor de optimale SE instelling. Deze worden duidelijk vermeld op de datasheet. Je vindt dan de optimale ruststroom, de bijbehorende negatieve bias, de optimale primaire impedantie van de uitgangstransformator en de benodigde voedingsspanning (die tussen A en B moet worden aangesloten), plus het beschikbare uitgangsvermogen
3) Kies een afzonderlijke voedingsspanning voor de stuursectie, tussen 300 en 400 V is een geschikte keuze.
4) Omdat de bias van de eindbuis nu bekend is, en bekend is dat de stroom door V2 tussen 5 en 6 mA ligt, kan de anodeweerstand Ra2 nu berekend worden
5) Stel V1 standaard in (zie tabel 2) en regel zo nodig Rk1 bij zodat de anodespanning van V1 tussen 25 en 60 V ligt en er voldoende spanning over Rk1 staat (30% meer dan de amplitude van de ingangsspanning)
6) Bereken nu Rx, zie daartoe de bovenstaande tekst
7) Meet of de spanning over Ra2 gelijk is aan de bias van de eindbuis die je gebruikt.
8) Sluit nu stuursectie en eindsectie op elkaar aan en meet of de ruststroom door de eindbuis voldoet aan de gewenste waarde. Er zal altijd wel een kleine afwijking ontstaan, die je kunt bijregelen met Rk1

Ik hoop dat hiermee het DCMB principe voor iedereen goed toegankelijk is geworden en wens ieder veel plezier met deze schakeling. Als dat plezier even groot is als wat ik eraan beleefd heb, dan heb ik mijn doel bereikt.

Literatuur en verwijzingen:

(1) Menno van der Veen & Hans van Maanen: "Non-linear distortions in capacitors"; 124-th AES Convention 2008, Amsterdam; paper 7500.

(2) Menno van der Veen:"Low level audio signal transfer through transformers conflicts with permeability behavior inside their cores"; 122nd AES Convention 2007, Austria, paper 7125.

(3) DCMB = Direct Coupling Modulated Bias. Go to www.audiodesignguide.com; look for the banner D.C.M.B. almost at the end of the list.

(4) Pierre Touzelet: "Accurate non linear models of valve amplifiers including output transformers"; 120th AES Convention 2006, Paris, paper 6830

(5) Menno van der Veen: "High-End Buizenversterkers 2"; Elektor ISBN 90-5381-204-0; hoofdstuk 2.

(6) Meer informatie en vragen: A2Belectronic@wanadoo.fr



Foto 1
frontaanzicht van de versterker

2 x 50 Watt
EL34 Balans Stereo Versterker
met Autobias

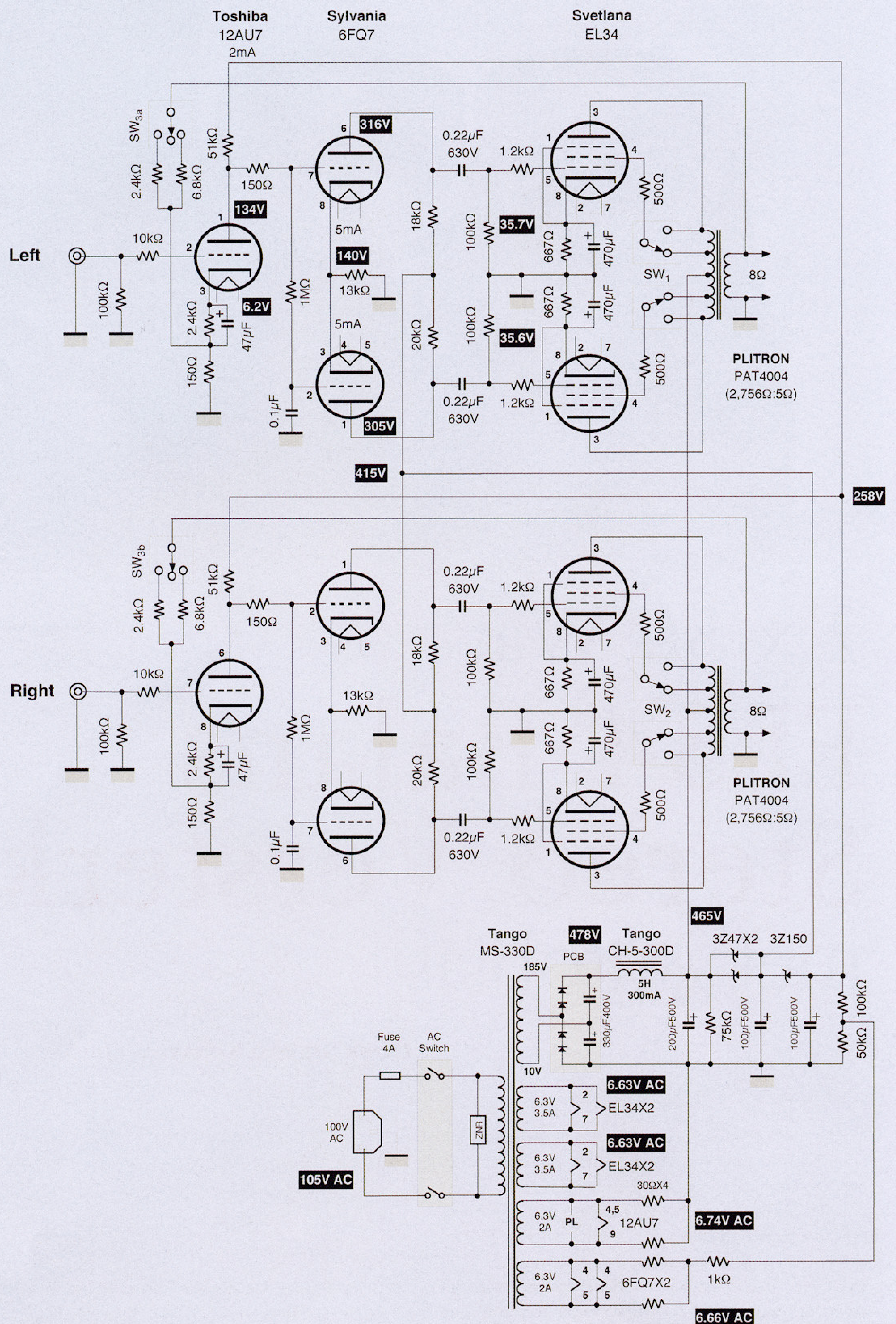
DOOR SATORU KOBAYASHI JAPAN

Satoru Kobayashi beschrijft wat er gebeurt in een 50 W buizen balans versterker als de ruststromen door de eindbuizen automatisch gelijk gehouden worden. Niet alleen het uitgangsvermogen stijgt aanzienlijk, ook de harmonische vervorming neemt drastisch af. Paring van de eindbuizen is niet meer nodig en hun veroudering wordt volledig opgevangen.

Midden jaren 90 kreeg ik op een AES conferentie in San Francisco een ringkern transformator van Menno van der Veen in handen die ik in een buizenversterker inbouwde. De resultaten met die trafo waren heel goed en vanaf dat moment ben ik in Japan een evangelist geworden van zijn ringkern uitgangstrafo's. Hiermee heb ik de afgelopen jaren vele buizenversterkers gebouwd en daarover gepubliceerd, met dezelfde resultaten als lage vervorming en een opmerkelijk groot frequentiebereik. Onlangs bracht Van der Veen samen met Guido Tent een nieuwe automatische ruststroom unit (auto-bias) op de markt en ik was uiterst nieuwsgierig wat die unit zou doen. Ik kreeg zo'n schakeling om uit te proberen en heb hem ingebouwd in een 10 jaar oud versterkerontwerp van mij, waarover ik toentertijd al gepubliceerd had in MJ (fameus audio zelfbouw tijdschrift in Japan) en AudioXpress (Amerika).

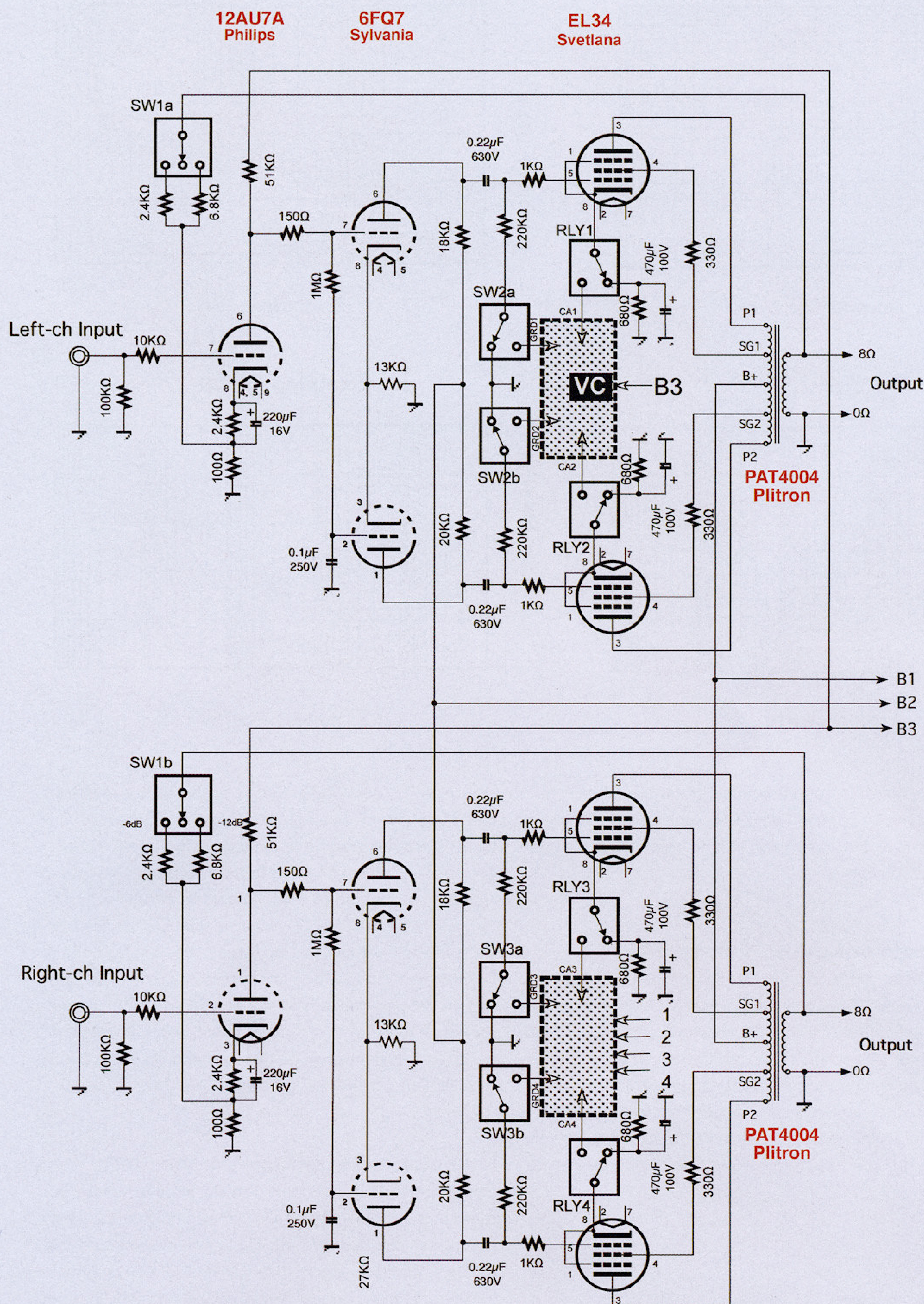
De resultaten van deze nieuwe auto-bias unit zijn opmerkelijk, zowel het vermogen als de lineariteit nemen drastisch toe, terwijl de vele luistertesten deze verbeteringen duidelijk hoorbaar bevestigden. In dit artikel wil ik de resultaten van mijn experimenten met u delen.

Figuur 1
Originele schematuur van de 35 W PP versterker



Auto-Bias Circuit

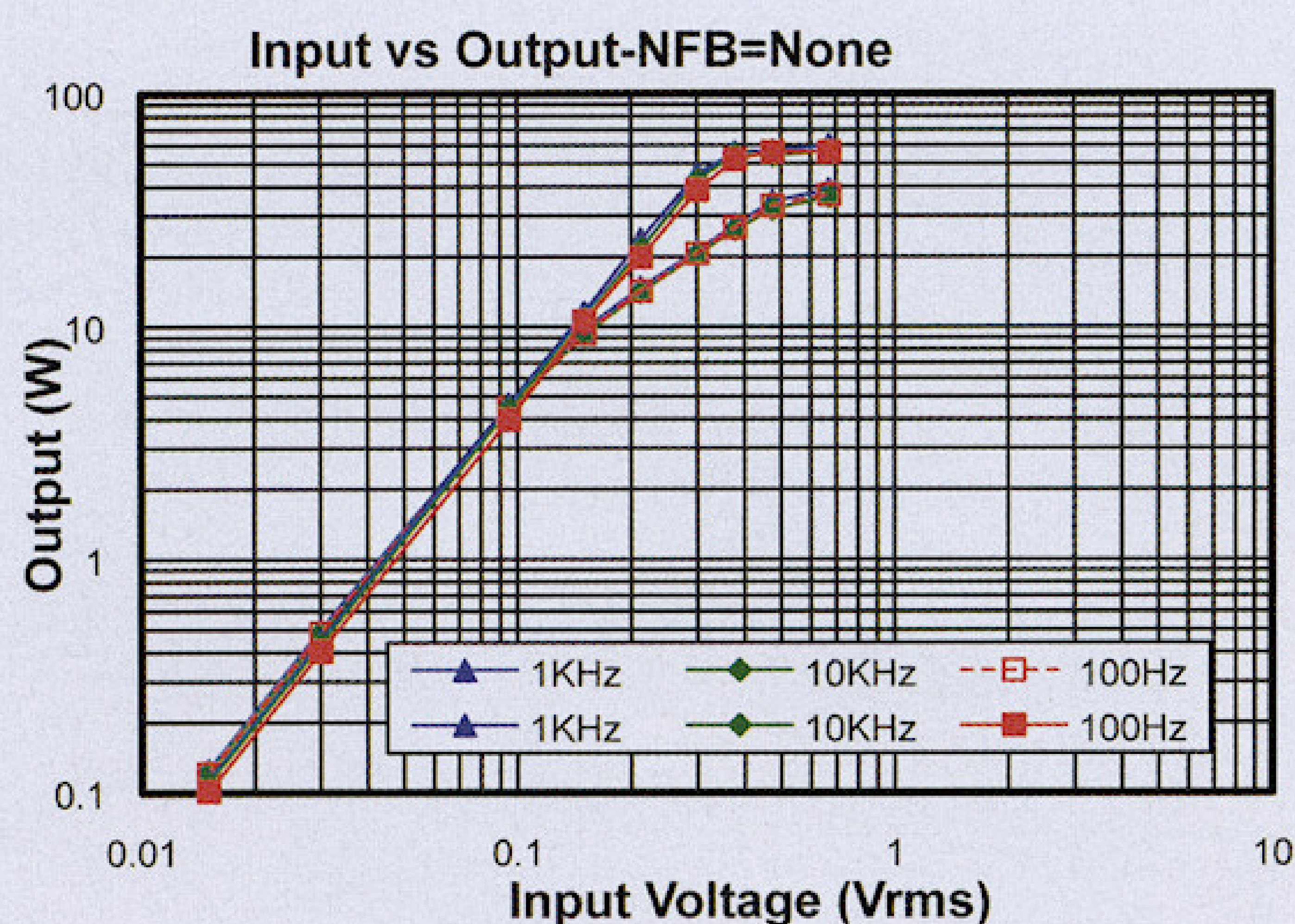
In de gebruiksaanwijzing van de unit (1) staat dat de schakeling over een interne 10 Ohm kathodeweerstand op elk moment, zelfs tijdens muziekweergave, de stroom door een eindbuis meet. Door automatische bijsturing van de negatieve spanning naar het stuurrooster wordt vervolgens de ruststroom van de eindbuis absoluut constant gehouden, ongeacht de mate van uitsturing van de eindbuis. De unit bevat 4 gelijke onafhankelijke schakelingen waarmee vier eindbuizen gelijktijdig gecontroleerd kunnen worden en waarbij hun ruststromen binnen 0,1 mA aan elkaar gelijk gehouden worden. Hierdoor is er geen onbalans in de ruststromen en wordt de kern van de uitgangstransformator niet gemagnetiseerd, waar-

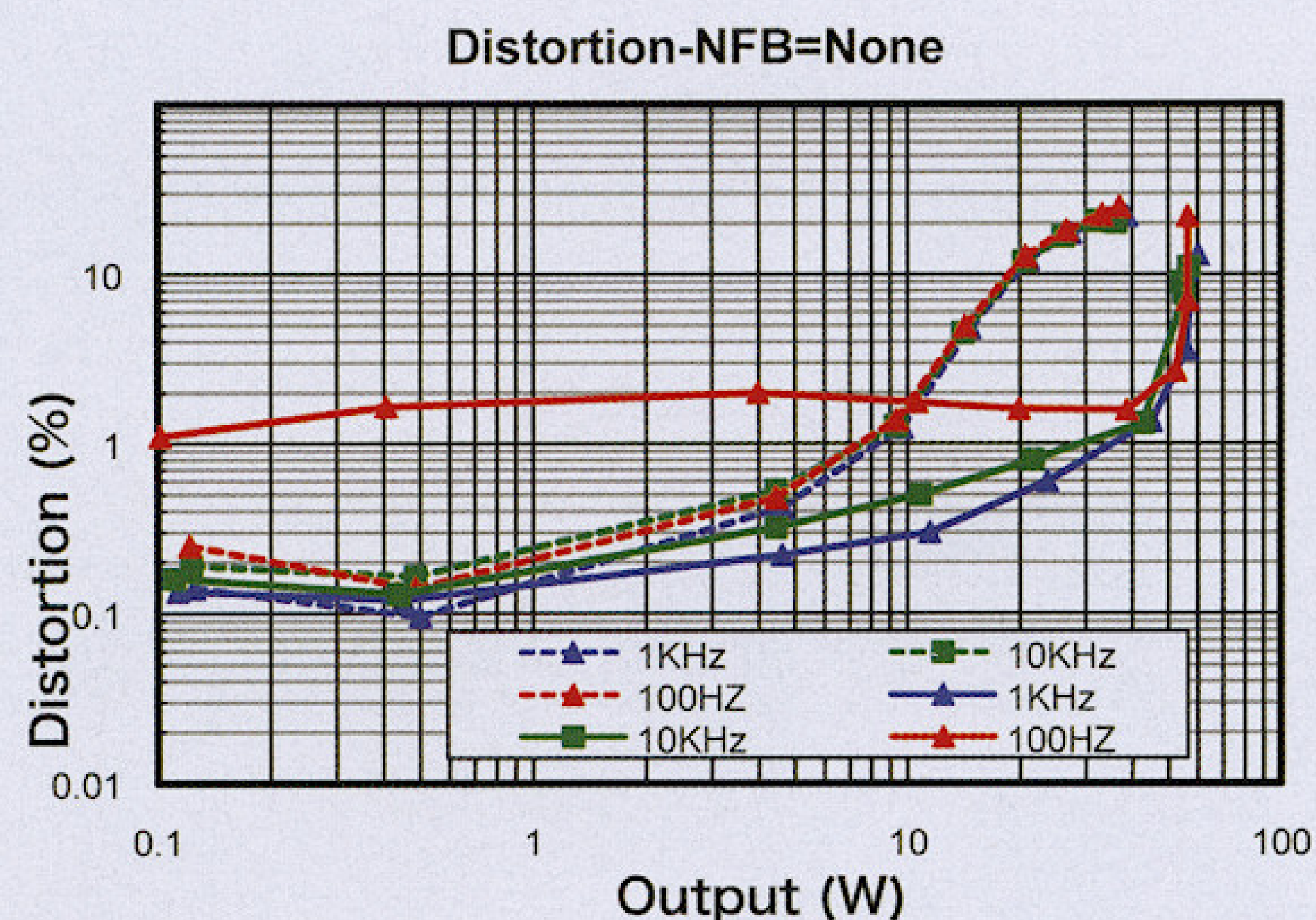


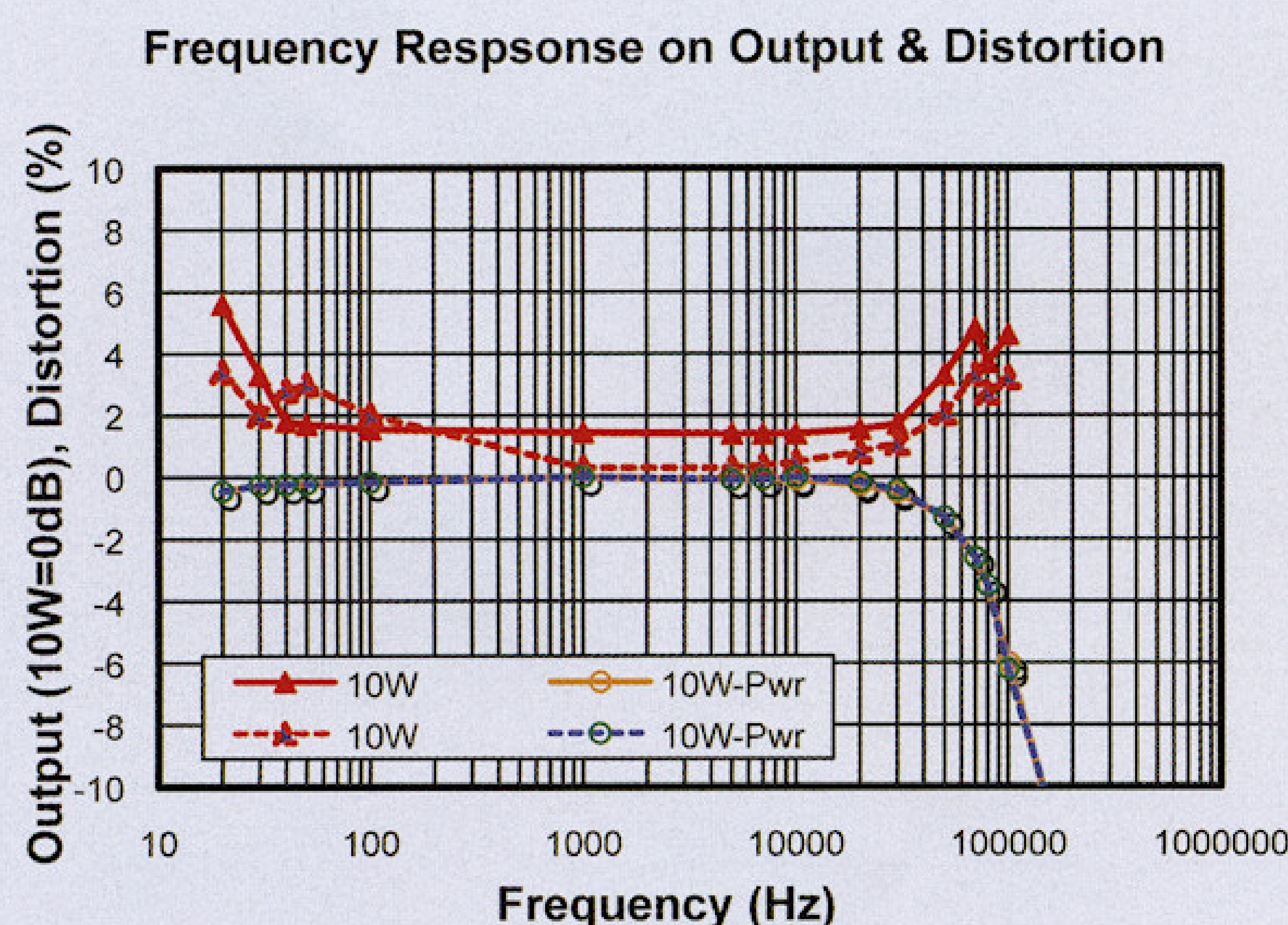
Figuur 2
nieuwe schematuur van EL34PP versterker met omschakelbare bias

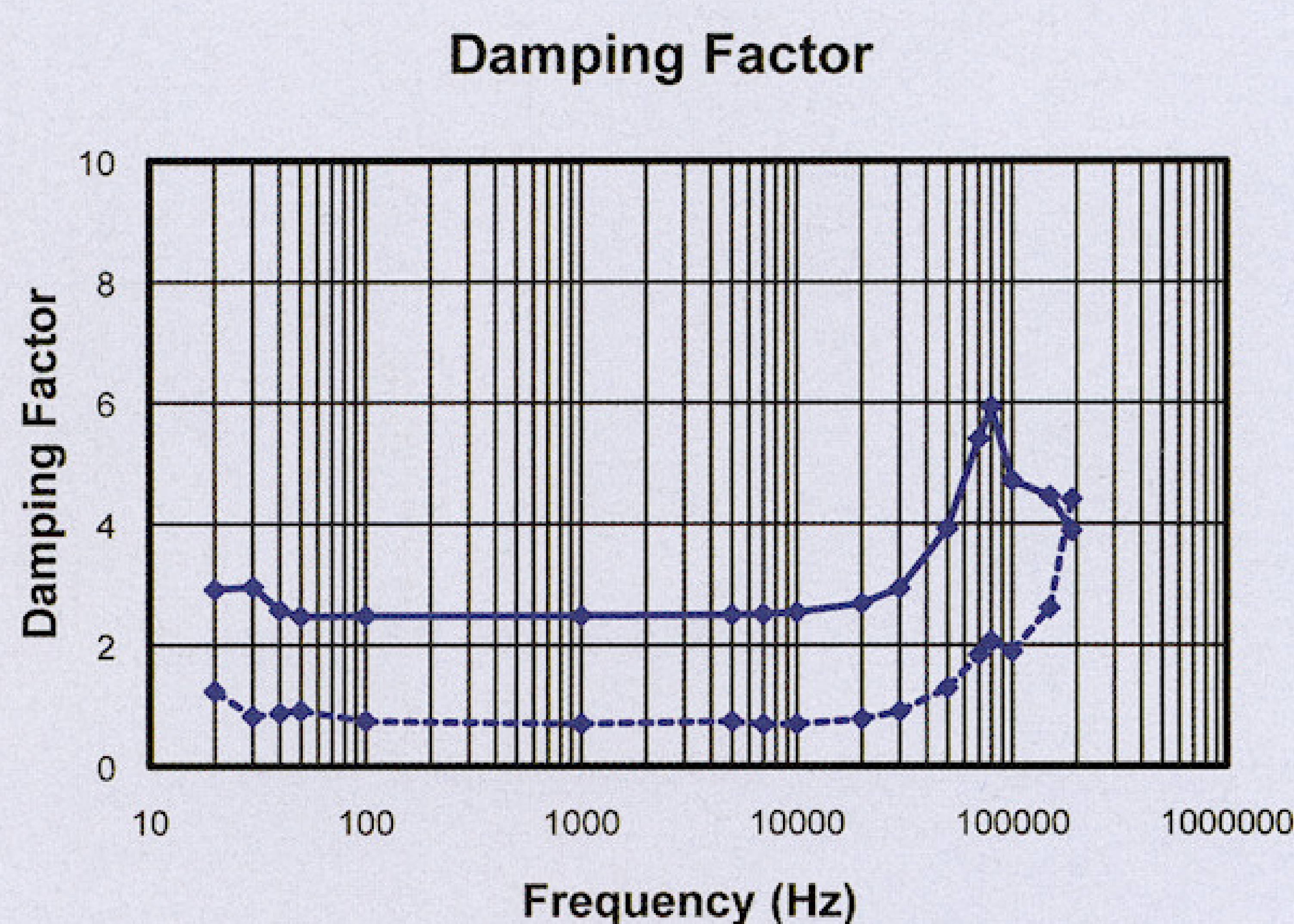
door microdetails extra goed kunnen worden weergegeven (2). Vergelijk je dit resultaat met conventionele bias door instelbare negatieve roosterspanning of door een kathodeweerstand met daarover een condensator (de oude vorm van autobias), dan kunnen daar de ruststromen slechts binnen enkele mA aan elkaar gelijk gehouden worden, waarbij dit ook nog eens afhankelijk is van de mate van uitsturing van de eindbuizen. De kern van de uitgangstransformator raakt dan gemagnetiseerd en de weergave van microdetails verslechtert.

Tot zover kan ik de gebruiksaanwijzing goed volgen; er staan verder geen theoretische verhandelingen in en hoe de schakeling werkt wordt daar niet verteld (3). De implementatie van de auto-bias unit is uiterst eenvoudig: a) sluit de netspanning aan; b) verbindt iedere kathode met de aansluiting op de unit; c) verbindt ieder stuurrooster (via een weerstand) met de bijbehorende roosteraansluiting op de unit; d) selecteer het bereik van het negatieve stuurroostervoltage (0-90V of 90-180V); e) verbindt de hoogspanning en de aarde met de unit; f) stel de gewenste ruststroom in met de trimpot.









Figuur 3
Vergelijk van meetresultaten tussen auto-bias en zelf-bias. Zie tekst voor meer details

De print van de auto-bias bestaat uit twee stukken: een voeding en een controle deel. Die kunnen van elkaar gescheiden worden, afhankelijk van de beschikbare ruimte in de versterker.

Oorspronkelijke Versterker

Figuur 1 toont het schema van de oorspronkelijke versterker die ik 10 jaar geleden ontwierp. Dit is een replica van de befaamde Marantz 8B versterker, maar nu met ringkern uitgangstrafo's. De resultaten van dit ontwerp waren (en zijn nog steeds) fantastisch. Ook al staat nu de versterker ietwat stoffig in de hoek van de kamer, elke keer als ik hem weer inschakel doet hij het geweldig, alsof hij nog helemaal nieuw is. De opbouw van de versterker is eenvoudig: een voorversterker, een long tailed fasedraaier en eindbuizen plus OPT. Indertijd ontwierp ik de voortrap en fasedraaier met Tube-CAD programmatuur, waarvan de resultaten in tabel-1 genoemd zijn. De eerste trap (12AU7A) versterkt ongeveer 15x en de fasedraaier (6&Q7) ongeveer 7x. De totale voorversterking bedraagt dus ongeveer 100, wat voldoende ruimte geeft om ook nog iets tegenkoppeling toe te passen. In de originele schakeling konden de schermroosters via een schakelaar Ultra Lineair of als Triode aangesloten worden. Ook de hoeveelheid tegenkoppeling was via een schakelaar instelbaar.

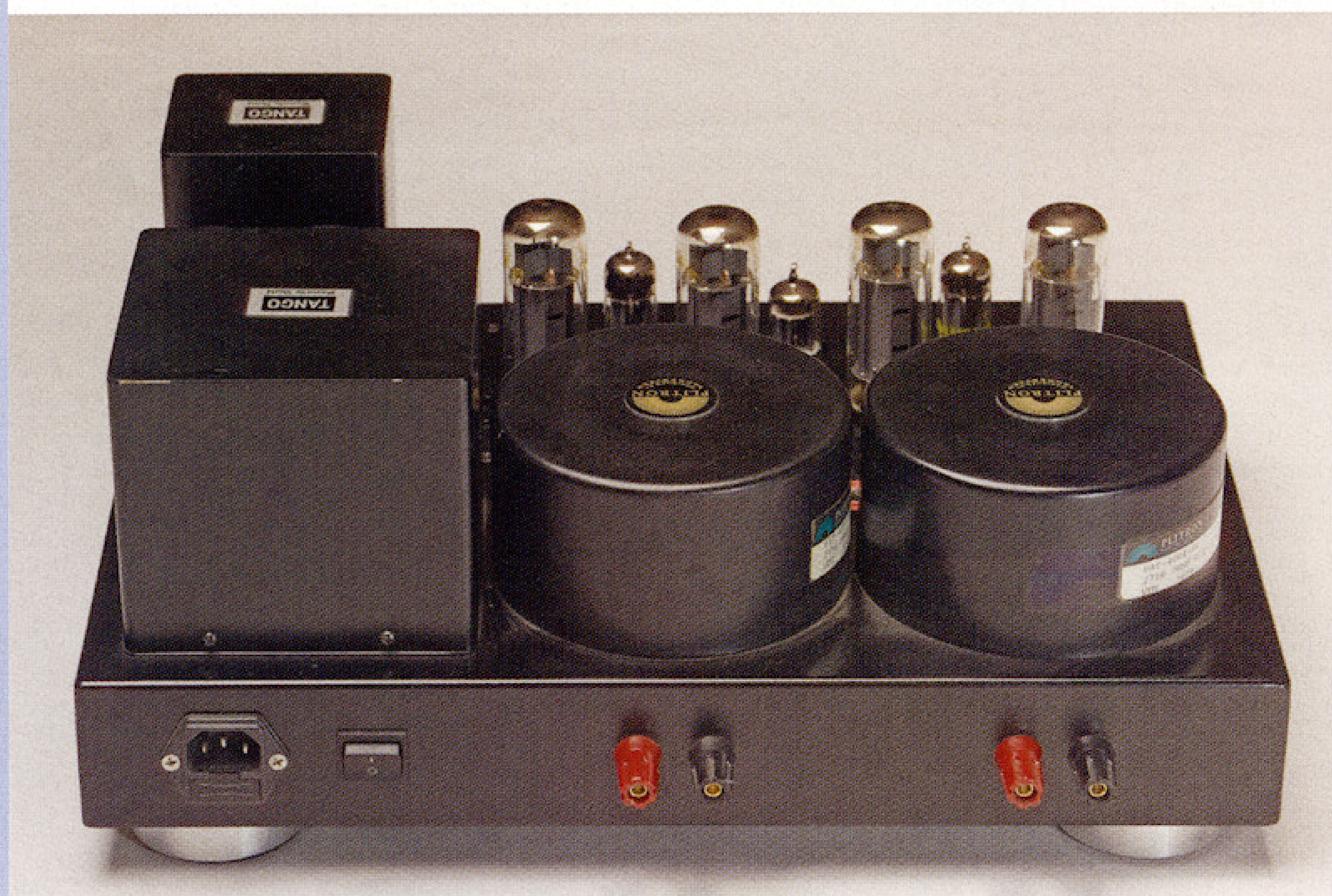
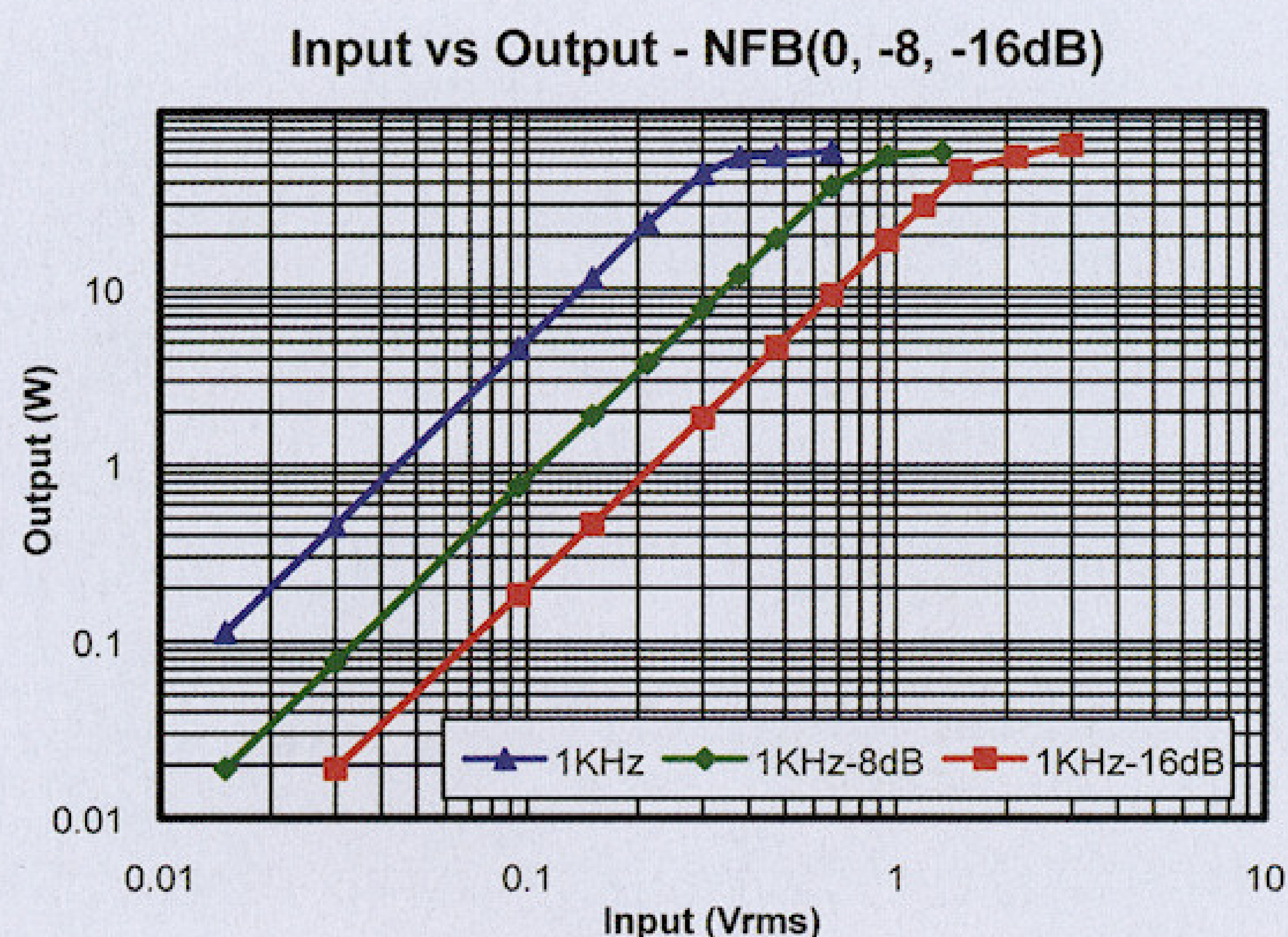


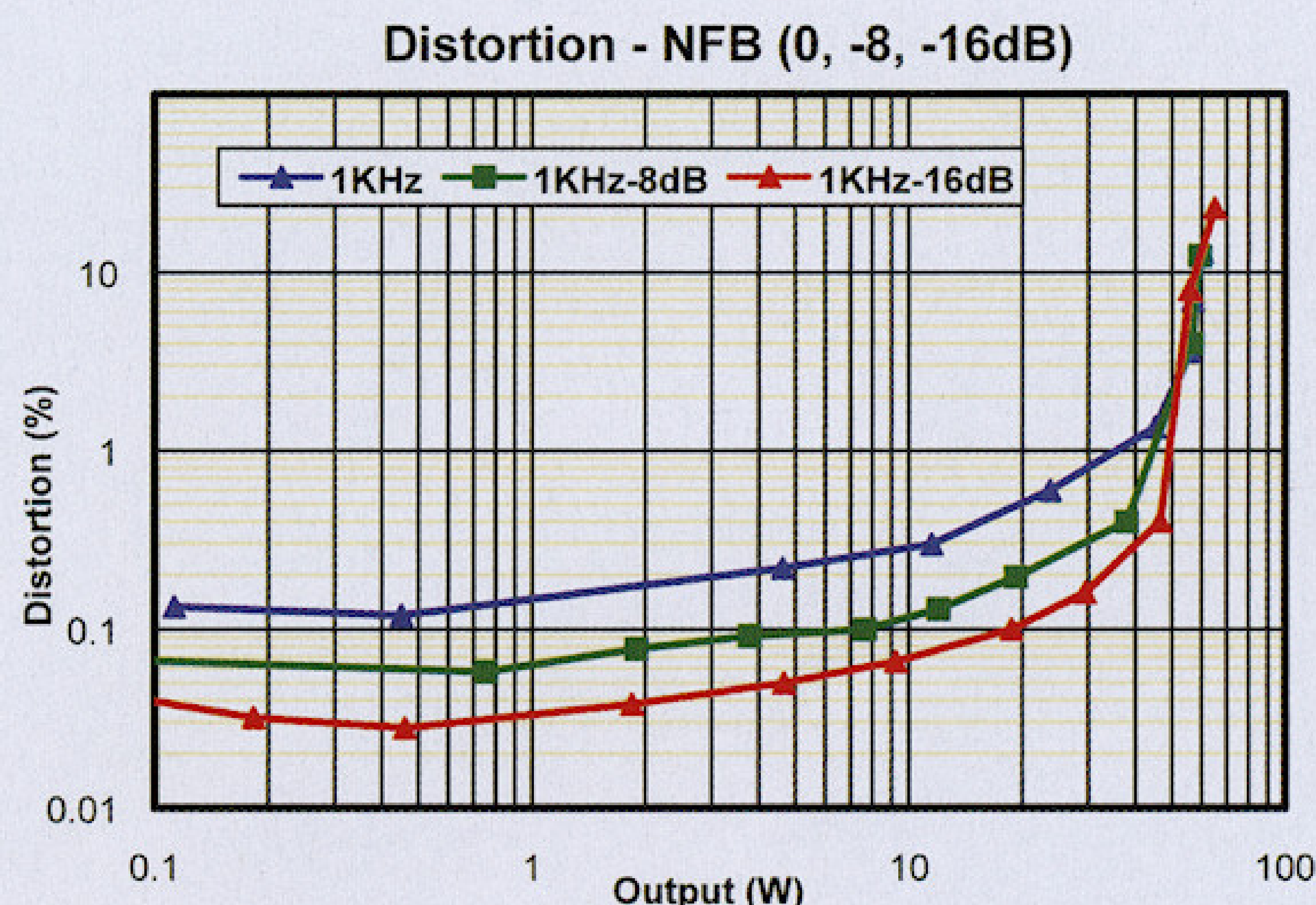
Foto 2
Achteraanzicht van de versterker

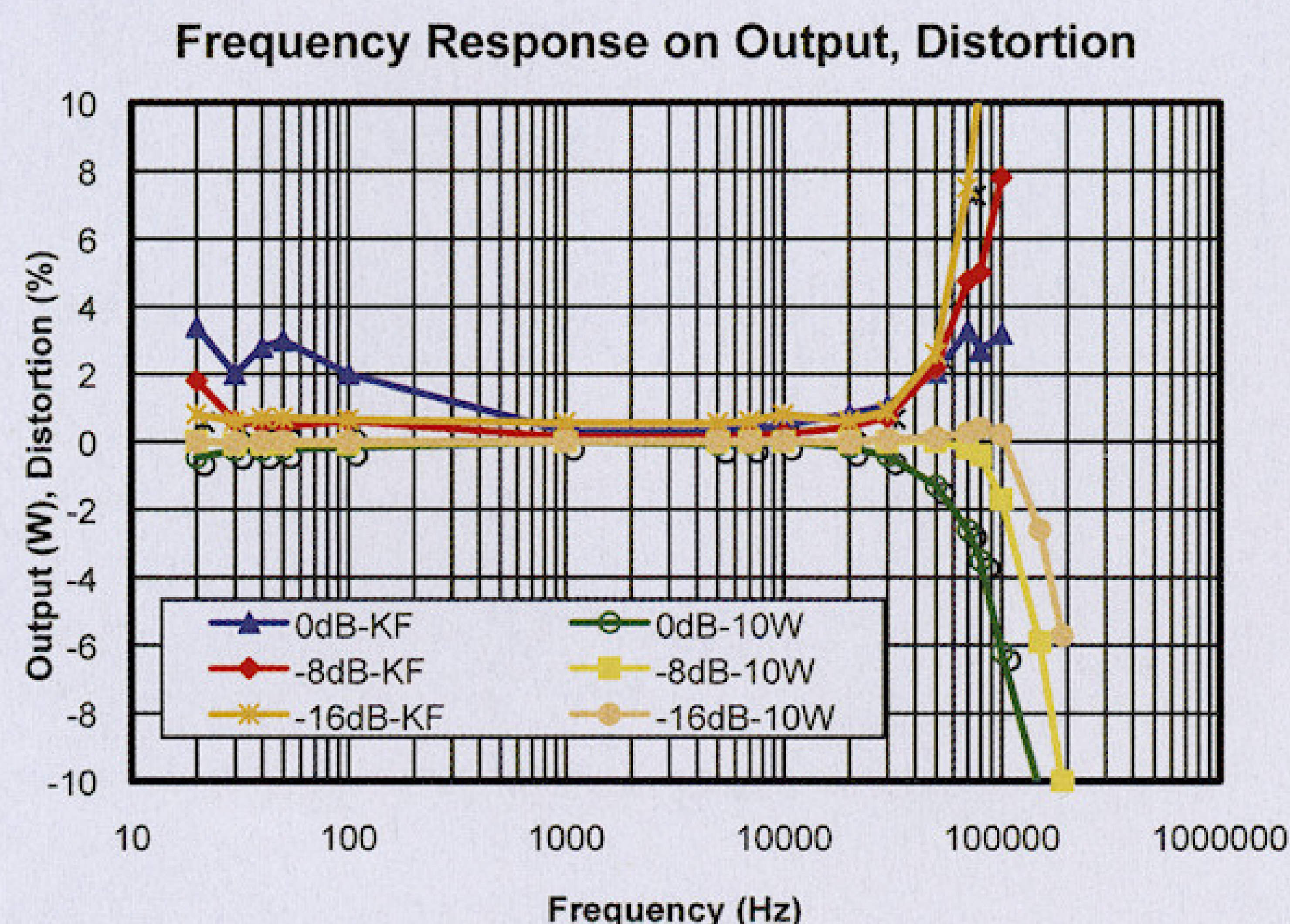
Nieuwe Auto-Bias Versterker

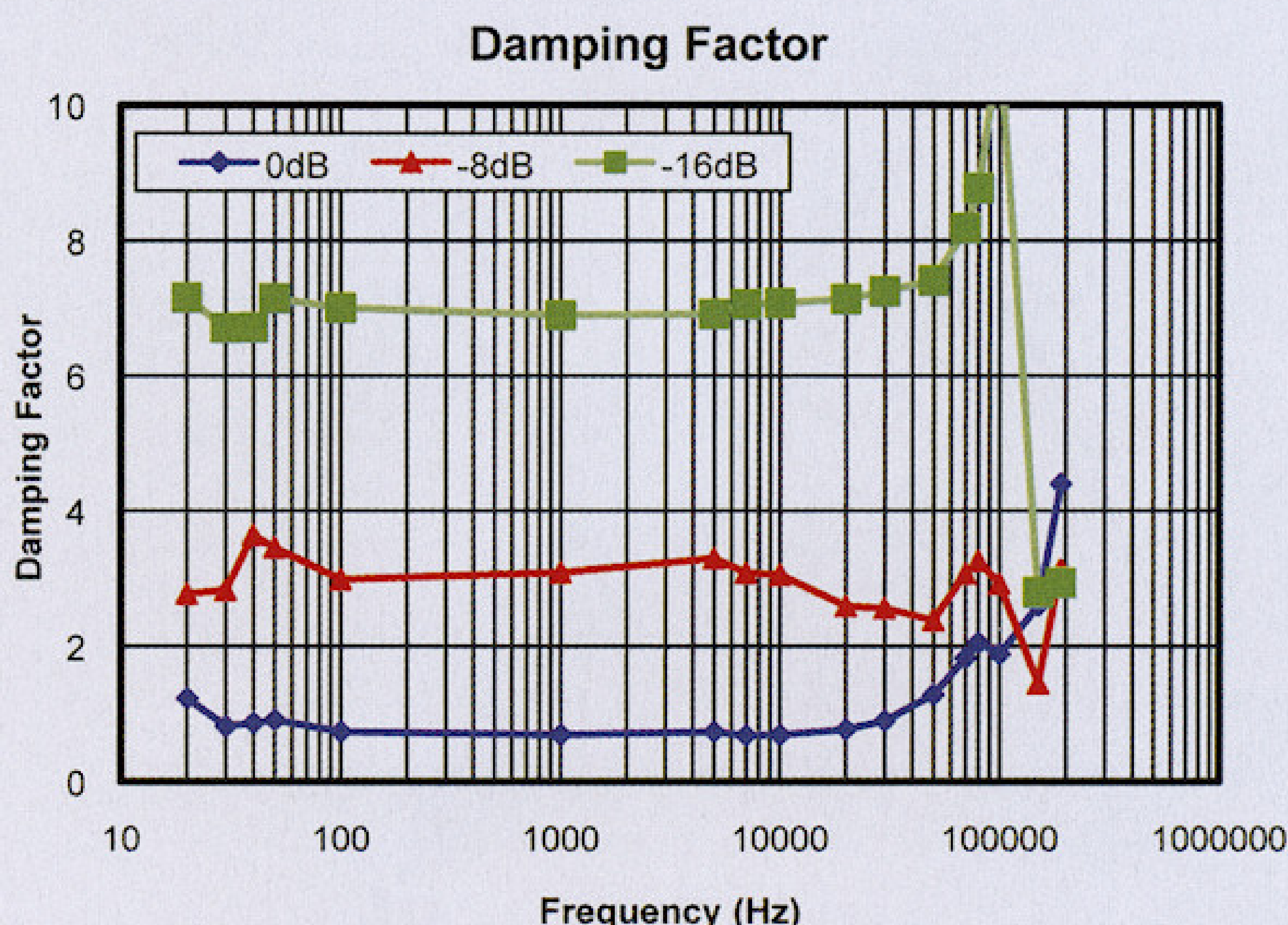
Figuur 2 toont het schema van de nieuwe versterker met auto-bias. Via een schakelaar kan nu gekozen worden tussen zelf-bias (met Rk//Ck) of de nieuwe auto-bias mode. Door middel van deze schakelaar kon ik gemakkelijk vergelijken tussen deze twee bias modes. Ik moet eerlijk zeggen dat ik in het begin wantrouwig was. Hoe kan auto-bias de geluidskwaliteit verbeteren? Wat heeft het een met het ander te maken? Ook mijn vrienden fronsten hun wenkbrauwen en zaten gretig klaar om dat reclamegepraat uit Nederland de nek om te draaien. Verderop vertel ik over onze verrassende bevindingen.

Omdat ik zoveel buizenversterkers gebouwd heb, weet ik nu ongeveer wel hoe je de eindbuizen moet instellen. Kies de ruststroom zo groot dat de anodedissipatie ongeveer 80% van de maximum anodedissipatie bedraagt. Zorg er ook voor dat de ruststromen door de eindbuizen zo goed mogelijk aan elkaar gelijk zijn. Dit









Figuur 4
Vergelijk van meetresultaten met auto-bias met verschillende tegenkoppelingen (0, 8 en 16 dB)

valt in rust zonder muziek nog redelijk goed in te stellen. Maar zodra er muziek wordt weergegeven, moet de gelijkheid van de eindbuizen wel ongelooflijk goed zijn voor gelijke ruststromen. Vaak is de situatie zo dat bij groter uitgangsvermogen de ruststromen door de eindbuizen verschillend worden. Dat verschil gaat vervolgens de kern van de uitgangstrafo magnetiseren waardoor zelfs verzadiging en fikse vervorming kan ontstaan.

Dit soort onbalans wordt door de nieuwe auto-bias schakeling voorkomen, want de ruststromen worden nu onafhankelijk van het geproduceerde uitgangsvermogen aan elkaar gelijk gehouden. Ik laat straks aan de hand van metingen zien dat deze nieuwe benadering heel positieve resultaten oplevert.

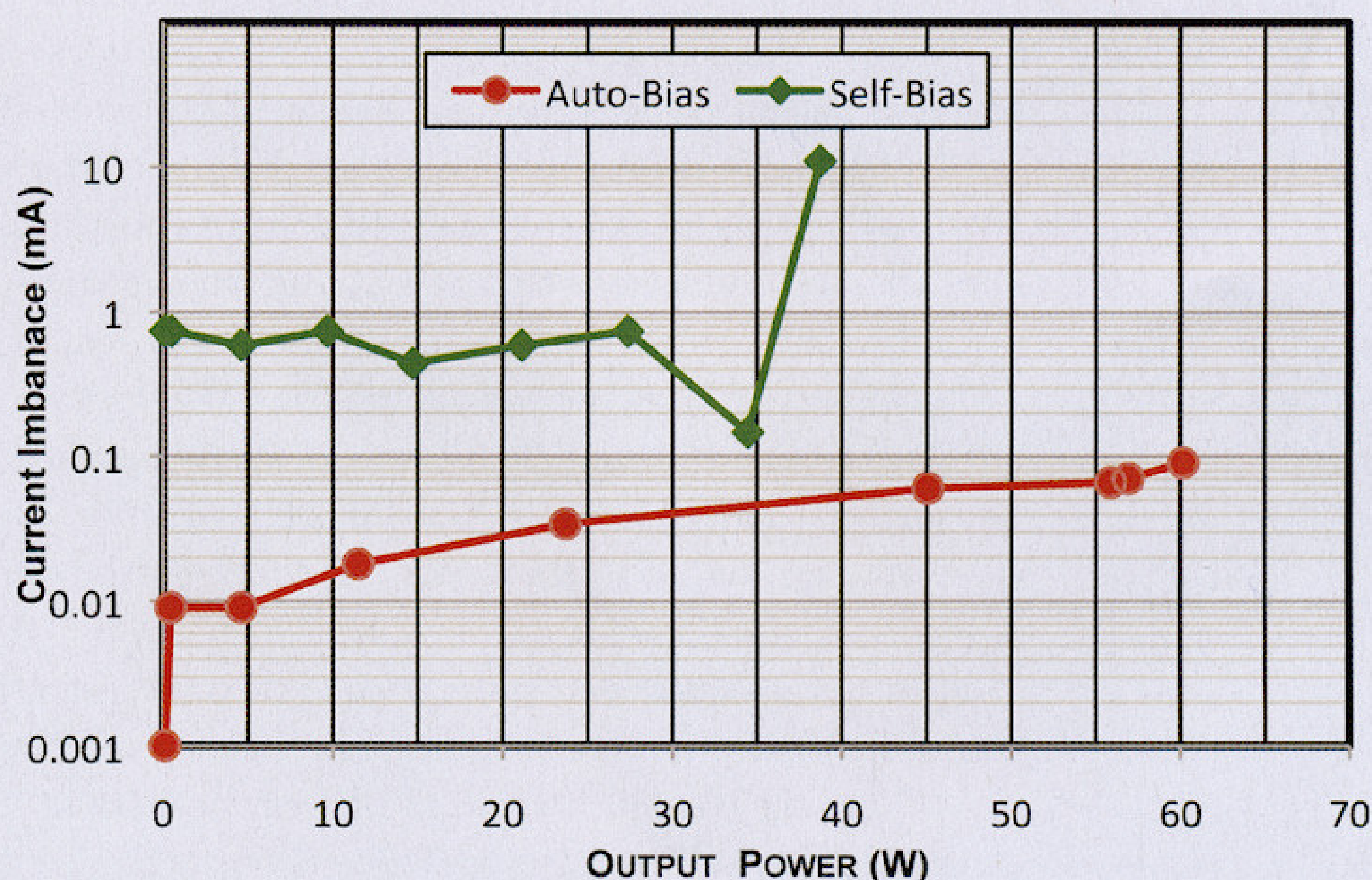
Constructie

Op de foto's 1 en 2 is te zien hoe de versterker er uit ziet. Aan de buitenkant is niets van de wijziging van de schakeling met de auto-bias unit zichtbaar. Dat blijkt pas als de bodem van het 1,6 mm dikke chassis wordt verwijderd. Er is naast de auto-bias unit een nieuwe print bijgekomen voor de omschakeling van de bias tussen de oorspronkelijke en de nieuwe schakeling met twee kleine 12V relais. Zie voor details de foto's 3 en 4. De weerstanden en condensatoren zijn met afstandspinnen geplaatst op een massieve printplaat, waarbij de aardeverbindingen steeds zo kort mogelijk op de koperlaag zijn gesoldeerd. Deze techniek werd vroeger bij hoogfrequent radioschakelingen toegepast en voldoet ook bij audio uitstekend. Zo ontstaan er geen bromlussen. Inregelen van de auto-bias is niet moeilijk. Ik heb een ruststroom van 50 mA per eindbuis ingesteld met de trimpot op de auto-bias unit. De spanning op de elke EL34 kathode ten opzichte van aarde moet dan 500 mV bedragen.

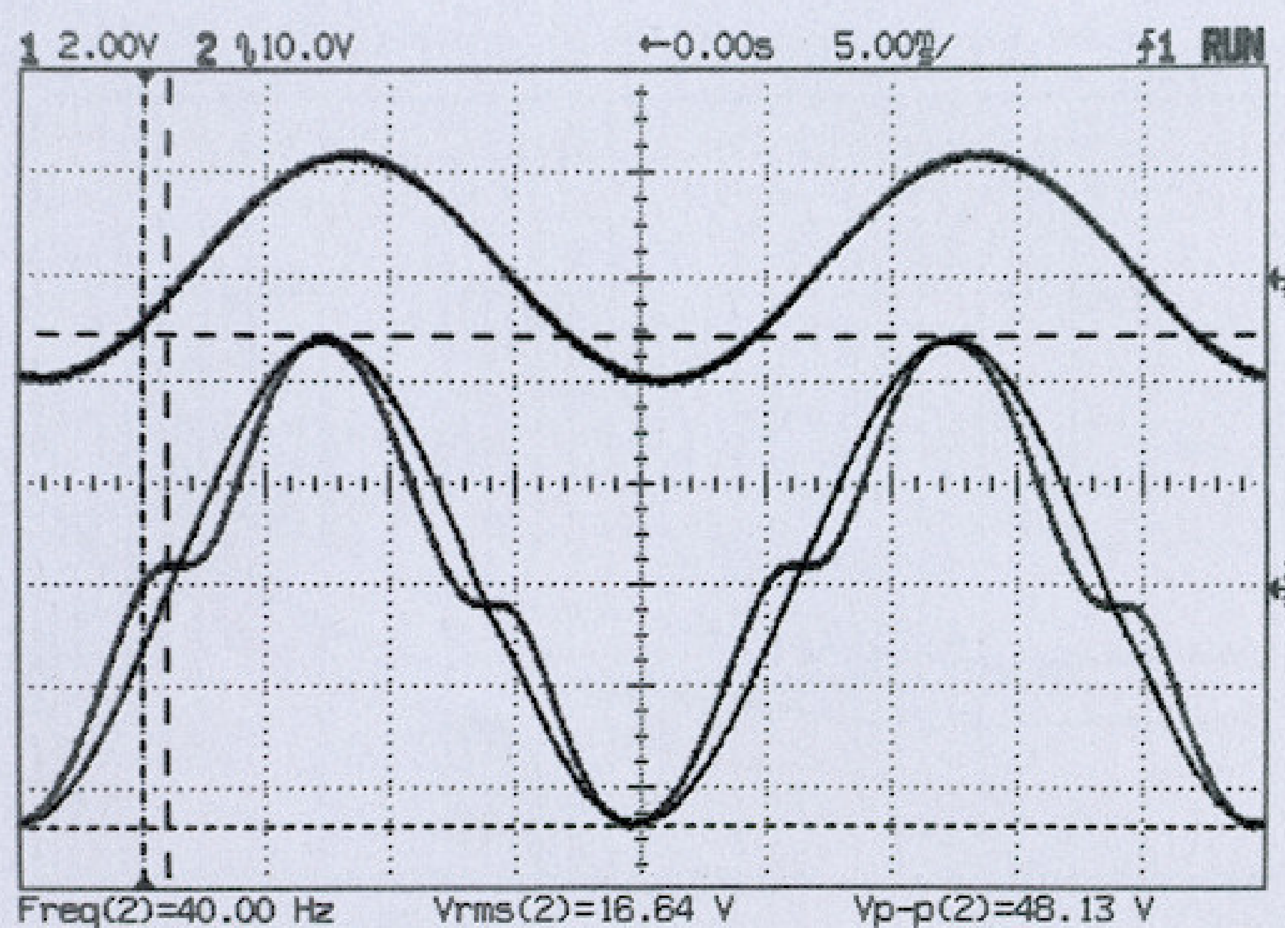
Meetvergelijk tussen oude en nieuwe schakeling

In figuur 3 links boven, wordt het uitgangsvermogen als functie van de ingangsspanning weergegeven. De bovenste meest steile kromme hoort bij de auto-bias, de andere eronder liggende gebogen kromme hoort bij de zelf-bias. Opvallend is dat de auto-bias een keurige lineaire relatie weergeeft, terwijl de zelf-bias een vroege kromming en inzet van verzadiging laat zien. Daarnaast is er in auto-bias beduidend meer uitgangsvermogen (ongeveer 50 W) beschikbaar dan bij zelf-bias (ongeveer

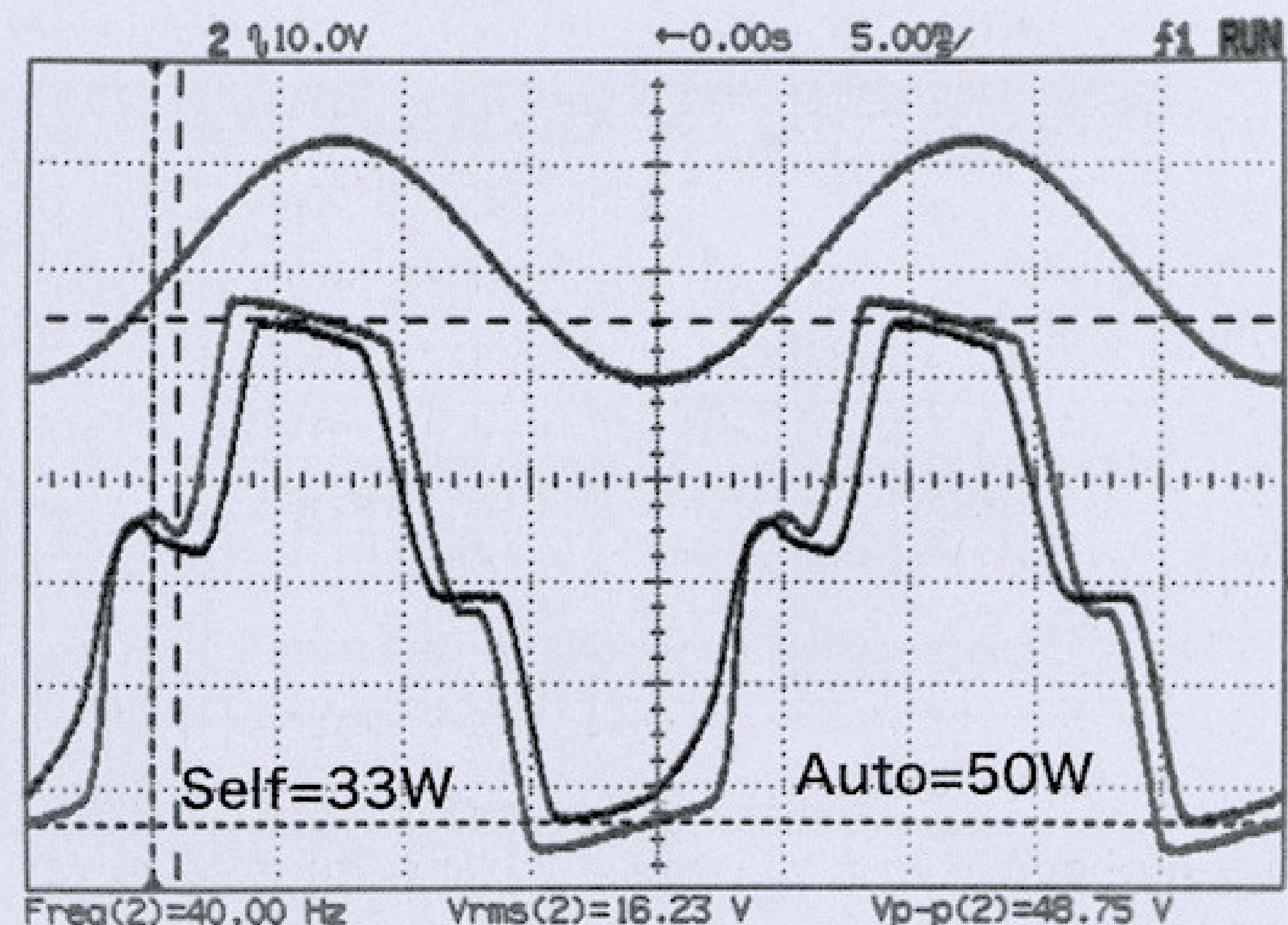
Figuur 5
Meting van onbalans van kathodestromen



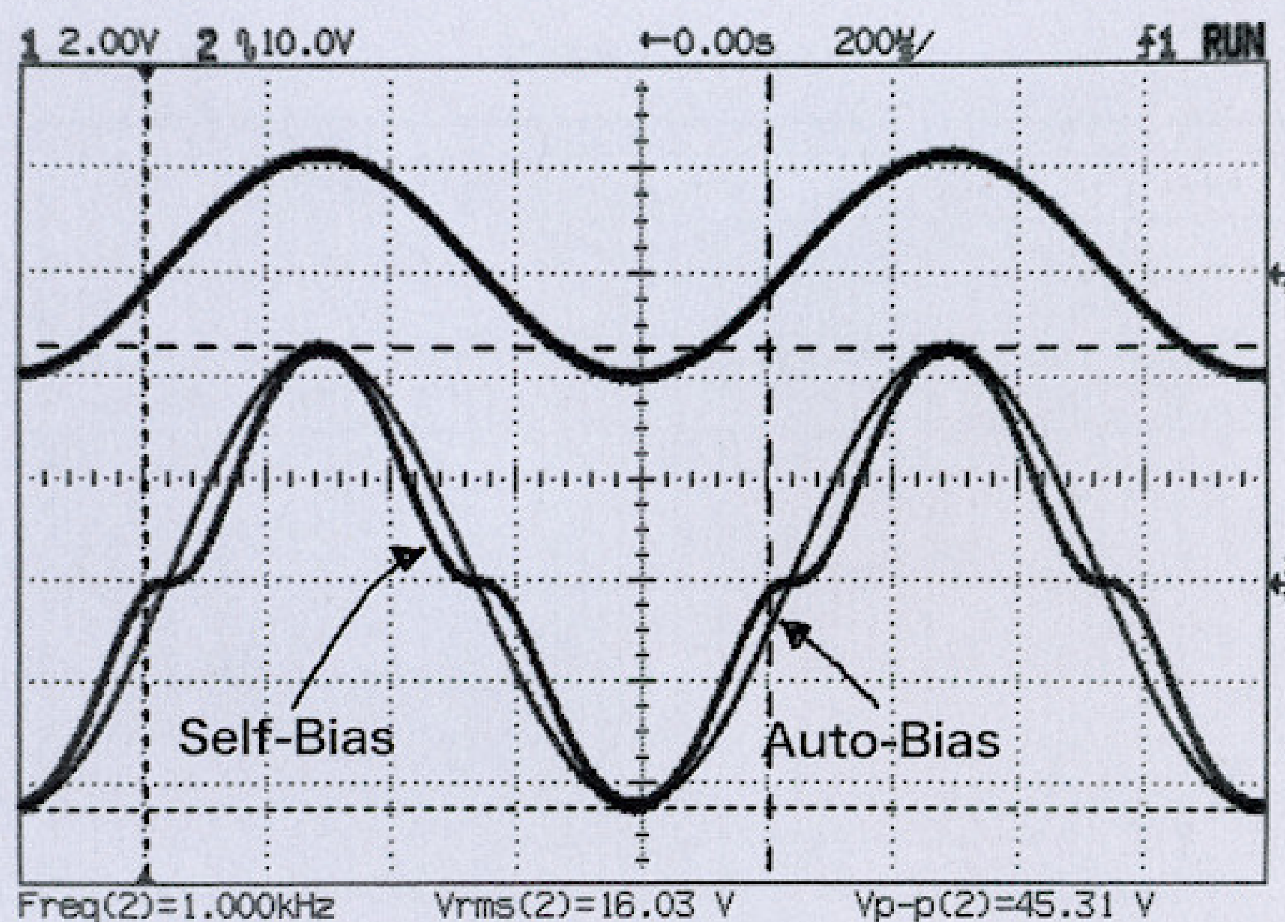
40Hz



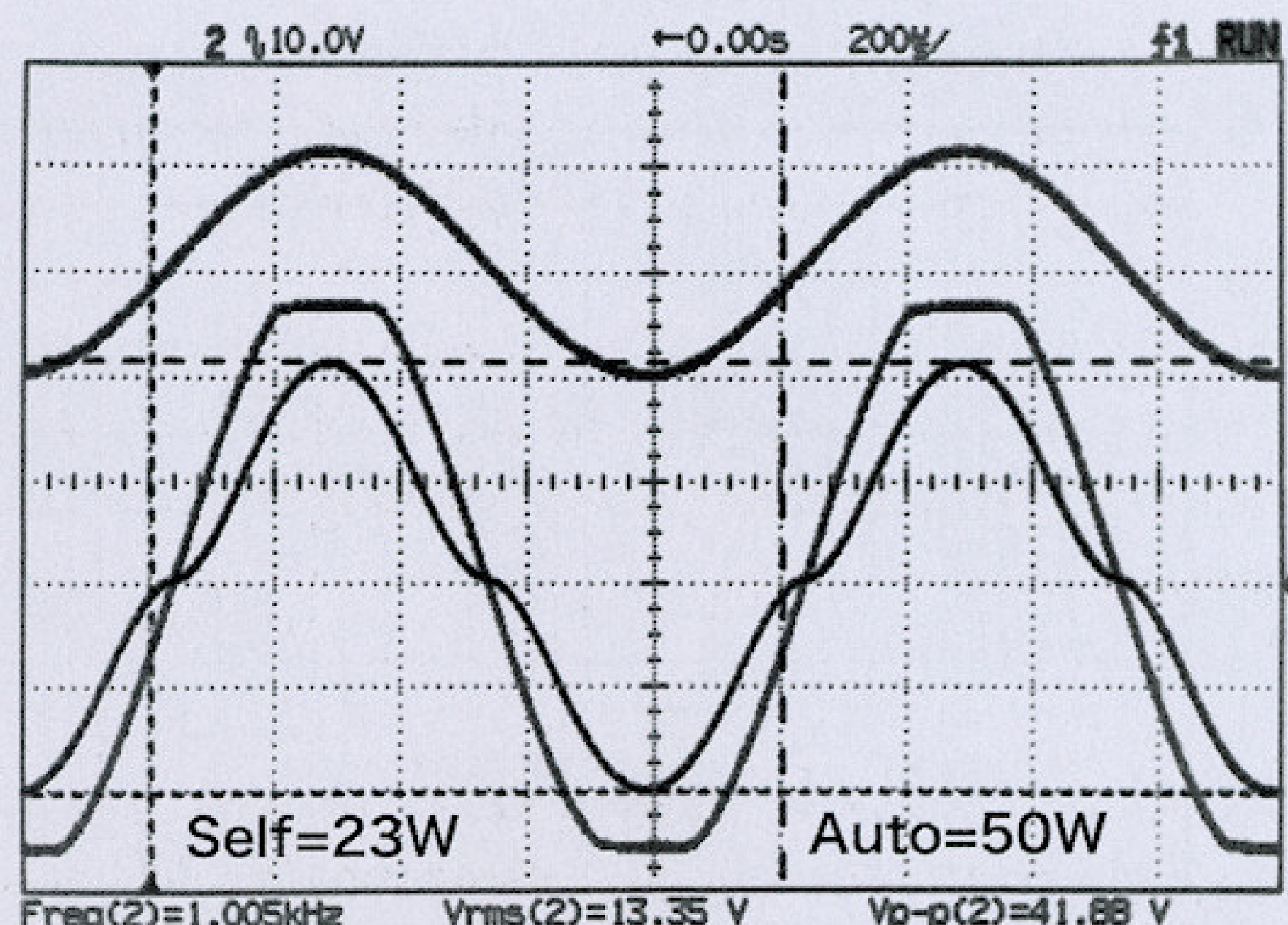
40Hz



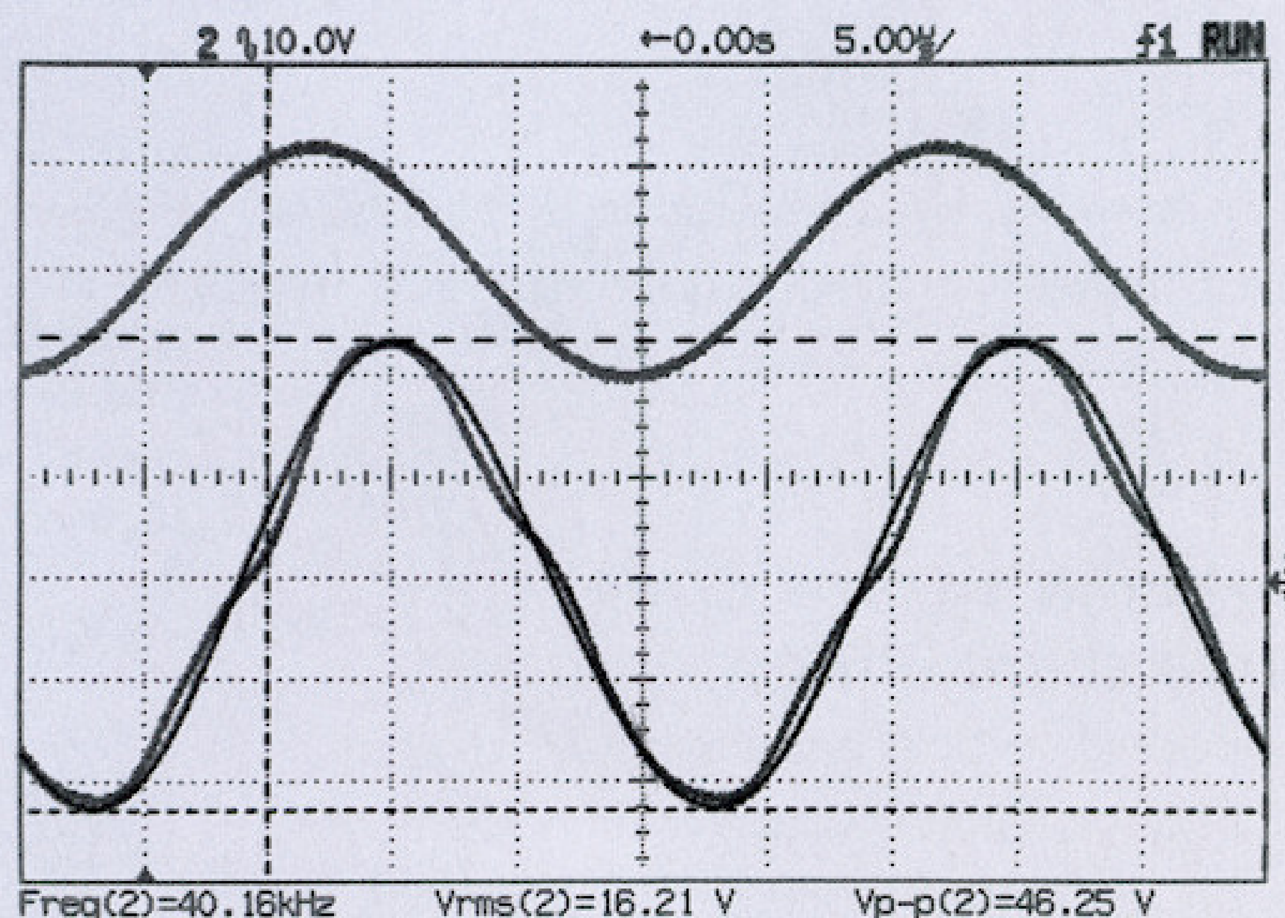
1KHz



1KHz

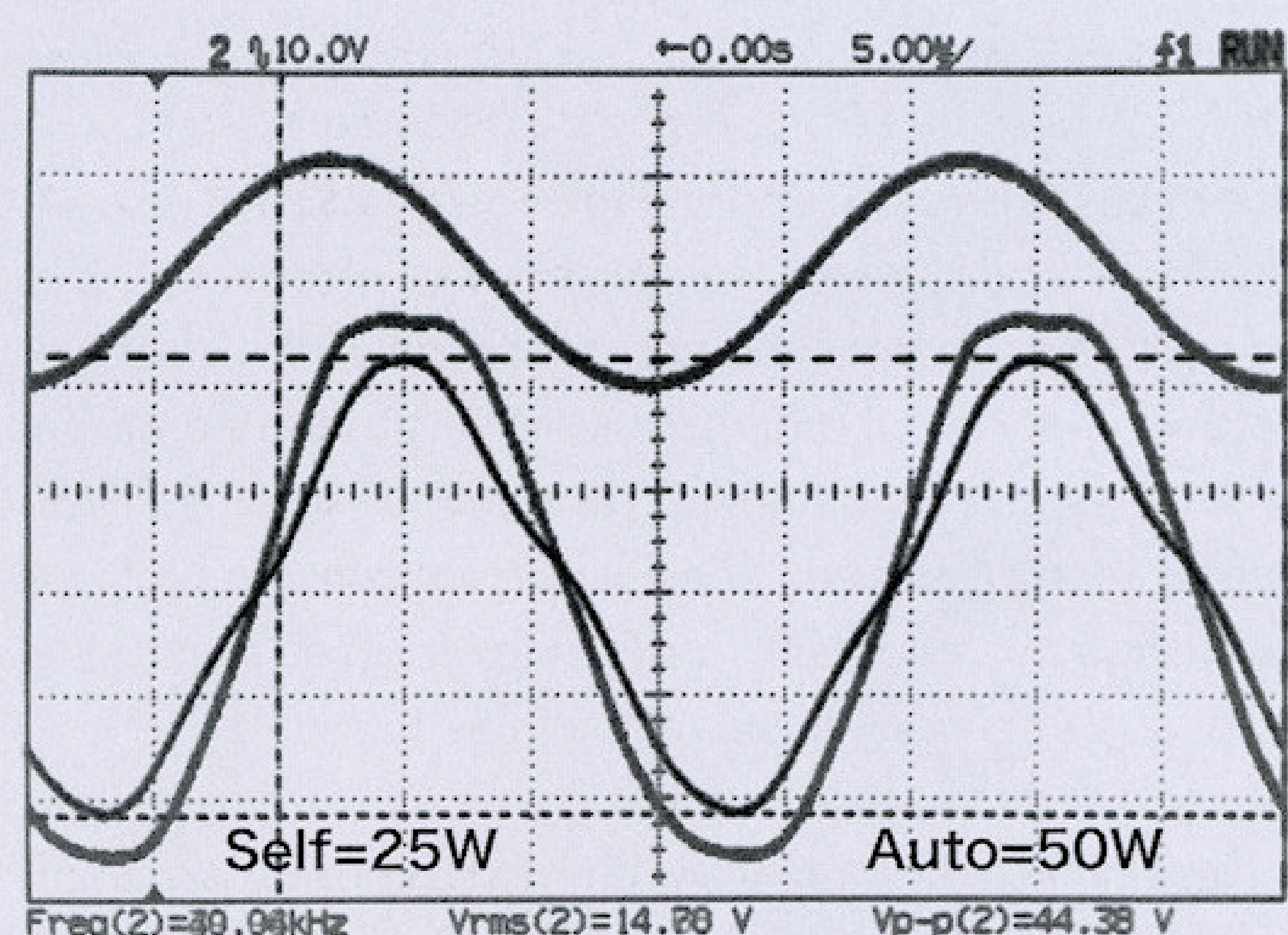


40KHz



8Ω Load, 32W output

40KHz



Figuur 6
Aantasting sinus golfvormen bij auto- en zelf-bias

Figuur 7
Oversturingsgedrag bij auto- en zelf-bias

35 W). De verklaring ervoor is dat in auto-bias meer spanning over de buizen staat omdat het spanningsverlies over Rk//Ck afwezig is.

In figuur 3 rechts boven, wordt de vervorming van de twee bias-modes vergeleken. Duidelijk is zichtbaar dat in auto-bias de vervorming vele malen lager is geworden, bij 20 W zelfs 10 maal kleiner dan in zelf-bias. Opmerkelijk is de auto-bias vervormingskromme van 100 Hz, deze loopt bijna helemaal constant horizontaal. De vermoedelijke oorzaak daarvan is dat de AC-balans van de stuursignalen van de fasedraaier niet exact gelijk was, maar ik heb verder niet de tijd gehad om dit nog te optimaliseren. Zie hiertoe 2) waarin beschreven staat dat zowel de ruststroom als de inwendige weerstand als de AC-balans per eindbuis gelijk wordt gemaakt. Dan treedt dit verschijnsel niet op.

In figuur 3 links onder, staan twee metingen tegelijk. De onderste krommes tonen de frequentie karakteristiek die pas bij 70 à 80 kHz de -3 dB waarde bereikt. Dit resultaat is helemaal aan de ringkern uitgangstrafo's toe te schrijven en er is dan geen verschil tussen auto- en zelf-bias. De erboven liggen holle kromme toont de vervorming als functie van de frequentie bij 10 W uitgangsvermogen. Ook daar is zichtbaar dat auto-bias minder vervormt, behalve bij heel lage frequenties, wat ligt aan de AC-balans zoals hiervoor al is aangegeven.

In figuur 3 rechts onder, staat de dempingsfactor die in de auto-bias mode hoger is dan in zelf-bias.

Samenvattend tonen deze metingen het volgende aan: meer uitgangsvermogen in auto-bias; lagere vervorming in auto-bias, hogere dempingsfactor in auto-bias. Voor optimaal laag is bij auto-bias fijnafstelling van de AC-balans en de inwendige weerstand nodig, zelf-bias schijnt daar ongevoeliger voor te zijn.

Auto-Bias metingen met tegenkoppeling

In figuur 4 zijn alle figuren metingen met de auto-bias. Nu wordt de tegenkoppeling verschillend ingesteld,

namelijk op 0 dB en op 8 dB en op 16 dB.
Figuur 4 links boven: hoe meer tegenkoppeling des te meer ingangsspanning er nodig is. De lineariteit is in alle instellingen van de tegenkoppeling al perfect.
Figuur 4 rechts boven: ook hier zijn de resultaten eenvoudig uit te leggen. Hoe meer tegenkoppeling er wordt toegepast, des te lager de harmonische vervorming wordt.
Figuur 4 links onder: in de onderste krommes is zichtbaar dat het -3dB frequentiebereik toeneemt als er meer tegenkoppeling wordt toegepast, zelfs toenemend tot 180 kHz bij 16 dB tegenkoppeling. Ook geven de bovenste kromme nog eens aan dat de harmonische vervorming door tegenkoppeling duidelijk afneemt.
Figuur 4 rechts onder: ook hier is de relatie eenduidig. Hoe meer tegenkoppeling, des te groter de demping wordt.
Samenvattend: tegenkoppeling verbetert vervorming en frequentiebereik en demping. Op zich is dit niks nieuws, maar het is goed om het via metingen nog eens bevestigd te zien.

Gelijkheid van de ruststromen

In figuur 5 staat de belangrijke meting van de gelijkheid van ruststromen bij verschillende uitgangsvermogens. Met de auto-bias blijven de ruststromen voor alle vermogens (tot aan verzadiging) gelijk binnen 0,1 mA. Staat de versterker in zelf-bias dan verschillen de ruststromen 1 mA tot maximaal 10 mA bij maximale uitsturing (ongeveer 35 W). In deze meting is overduidelijk zichtbaar dat auto-bias de gelijkheid van ruststromen aanzienlijk verbetert. Daardoor is nu gegarandeerd dat de kern van de uitgangstrafo niet DC gemagnetiseerd raakt, wat een betere weergave van microdetails oplevert (2).

Aantasting van de Sinus

In figuur 6 wordt de aantasting van de sinusgolf getoond bij frequenties van 40 Hz, 1 kHz en 40 kHz bij 32 Watt uitgangsvermogen in 8 Ohm. In de zelf-bias mode is steeds een soort overnamevervorming te zien, die veroorzaakt wordt door het opladen van de koppelcondensatoren, doordat bij oversturing de stuurroosters stroom beginnen te trekken. In de auto-bias mode blijft bij hetzelfde uitgangsvermogen de golfvorm volledig schoon, wat ook logisch is omdat de versterker bij 32 Watt nog niet overstuurd is.
Hoe beide modes zich bij redelijke oversturing gedragen staat in figuur 7. Duidelijk is daar zichtbaar dat de auto-bias mode pas bij hoger uitgangsvermogen in de begrenzing gaat. Opmerkelijk is de 1 kHz meting in auto-bias: er is daar sprake van fikse oversturing maar ondertussen is er geen overname vervorming rond de nul-as zichtbaar. Opnieuw tonen deze metingen aan dat auto-bias het audiosignaal schoner weergeeft.

Luisterindrukken

De eerste indruk van het geluidsbeeld met auto-bias is dat de versterker het schone karakter van een goede transistorversterker begint te vertonen. De vervorming en kleuring zijn duidelijk minder dan bij zelf-bias. In beide modes klinkt de versterker warm en toch helder, maar in de auto-bias mode zijn duidelijk beter dieperliggende micro-details hoorbaar.
Vooral bij lage geluidsniveaus zijn de helderheid en doorzichtigheid van het geluidsbeeld in auto-bias opvallend beter. Dit ligt dan niet alleen aan de betere signaal-ruis verhouding met auto-bias (de versterker bromt minder), maar dit komt vooral omdat je dieper in het geluidsbeeld kunt luisteren. Luisteren naar de Japanse Taiko bassdrums toont bijvoorbeeld overduidelijk aan dat je met auto-bias meer details kunt horen en de verschillende trommels beter van elkaar kunt onderscheiden.

Table-1 Simulation Result

Parameter	Input Stage	Phase Splitter
Circuit	Resitor loading	Long Tail
Tube	12AU7	6FQ7
Plate Voltage	250V	400V
Input Resistor	10kΩ	150Ω
Plate Resistor	51kΩ	18kΩ/20kΩ
Cathode Resistor	2kΩ	13kΩ
Output Load Impedance	330kΩ	100kΩ
Coupling Capacitor	0.33μF	0.1μF
Plate Current	2mA	10mA
Gain(dB)	14.48(23.2dB)	6.91(16.8dB)
Plate-Cathode Voltage	144V	180V
Grid Voltage against the Ground	0V	124V
Power Supply Rejection ratio	-17.8dB	-0.24dB
Maximum Saturated Input Voltage	6.1V	5.74V
Maximum Output Voltage	-93/+93.5V	-42/+42V
Grid Bias Voltage	-6.46V	-6.08V
Input Impedance	268kΩ	311kΩ
Output Impedance	6.56kΩ	5.12kΩ
Lower Cut off frequency (-3dB)	1.43hz	15.1hz
Upper Cut off frequency (-3dB)	733khz	>1Mhz
Effective Cathode Resistor	3.24kΩ	-
Cathode Bypass Capacitor	4μF	-
Plate Power Consumption	288mW	900mW
Plate Resistor Power Consumption	204mW	450mW
Total Gain (100) = Input Stage (14.48) X Phase Splitter (6.91) 40dB = 23.2dB + 16.8dB		

Tabel 1
CAD-resultaten van ingangstrap + fasedraaier

Samenvatting

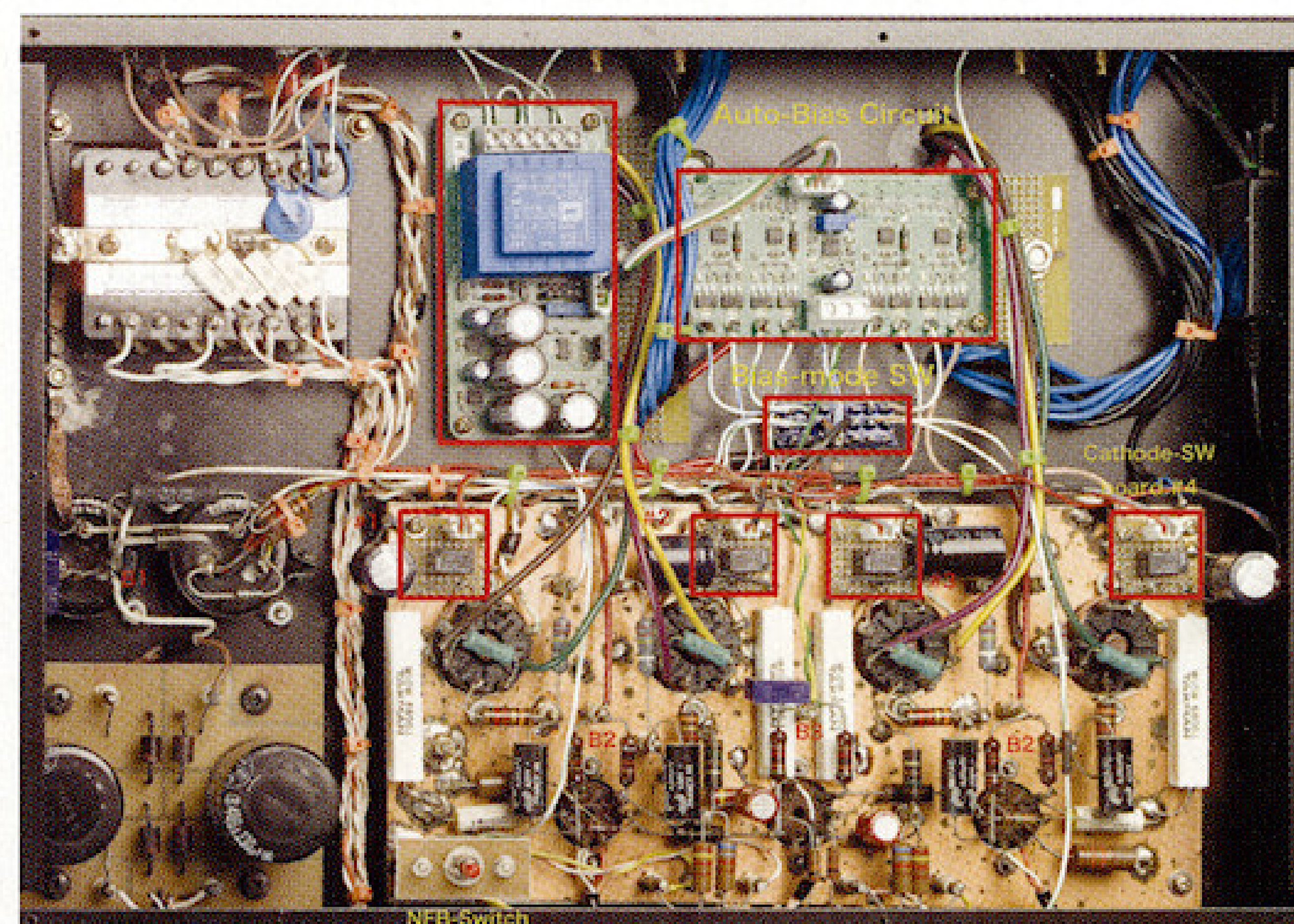
De proeven die ik met mijn versterker in auto-bias contra zelf-bias heb uitgevoerd hebben duidelijk aangetoond dat auto-bias een aanzienlijke verbetering oplevert. De stromen door de eindbuizen worden veel nauwkeuri-

Amplifier		
Component	**Specification**	**Qty.**
Final Tube	EL34 Matched Pair (Svetlana)	2
Input Stage	12AU7A (Philips)	1
Phase Splitter	6FQ7 (Sylvania)	2
Output Transformer	PAT-4004 Plitron VDV-3070PP Amplimo	2
Resistor	100Ω 1/2W	2
Resistor	150Ω1/2W	4
Resistor	330Ω 2W	4
Resistor	680Ω10W	4
Resistor	1kΩ 1W	4
Resistor	2.4kΩ1/2W	2
Resistor	2.4kΩ1W	2
Resistor	6.8kΩ1/2W	2
Resistor	10kΩ 1/4W	2
Resistor	13kΩ 2W	2
Resistor	18kΩ 2W	2
Resistor	20kΩ 2W	2
Resistor	100kΩ 1/2W	2
Resistor	220kΩ 1W	4
Resistor	1MΩ 1/2W	2
Capacitor	0.1μF 250V	2
Capacitor	0.22μF 630V	4
Electrolytic Capacitor	220μF 16V Matsushita	2
Electrolytic Capacitor	470μF 100V Nichicon	4
Switch 1	2-pole 3-position with neutral position	1
Switch 2	3-pole 2-position	2
Relay1~4	G5V-1 12Vdc OMRON	4
Auto-Bias Circuit	Vanderveen en Tentlabs	1
PTP Terminal Board	IAG made. 250 x 120 mm	1
Power Supply		
Component	**Specification**	**Qty.**
Power Transformer	MS-330DTango	1
Choke Coil	CH-5-300DTango	1
Diode	1000V 1A RG4C Shin-Dengen or Equivalent	4
Zener Diode	3W 47V, 3Z47Toshiba	2
Zener Diode	3W 150V, 3Z150Toshiba	1
Resistor	30Ω 2W Cement type Resistor	4
Resistor	1kΩ 1W	1
Resistor	50kΩ 1W	1
Resistor	75kΩ 5W	_
Resistor	100kΩ 1W	1
Electrolytic Capacitor	330μF 400V Nichicon	2
Electrolytic Capacitor	100μF+100μF 500V ELNA Cerafine	2
Pin Terminals	Teflon Insulated	
Switching Power Supply	12Vdc output, 100-240Vac input, Taiwan made	1
Epoxy Copper Clad Board	100 x 75 x 1.6mm	1
Chassis		
Custom made chassis	410 x 290 x 60mm 1.6mm thickness iron plate	1
Socket	8 pin (QQQ Made) for EL34	4
Socket	9 pin (QQQ Made) for 12AU7, 6FQ7	3
RCA pin Jack	Black, Red Supertron	2
Power Switch	125V 10A C&K Components	1
AC Power Entry Module	NICO 250V 10A with Mini fuse folder (250V 5A slo-blo)	1
Speaker Terminal	Black, Red	2
Pilot Lamp	6V LED with Resistor SATO PARTS	1
Brass Spacer	13mm ∅ 3mm	8
Brass Spacer	30mm ∅ 3mm	2
Brass Spacer	15mm ∅ 4mm	4
Metal Feet	IAG made	4
3mm volt/nut		
Hookup Wire	Teflon Insulated	
Pin Terminals	Teflon Insulated	

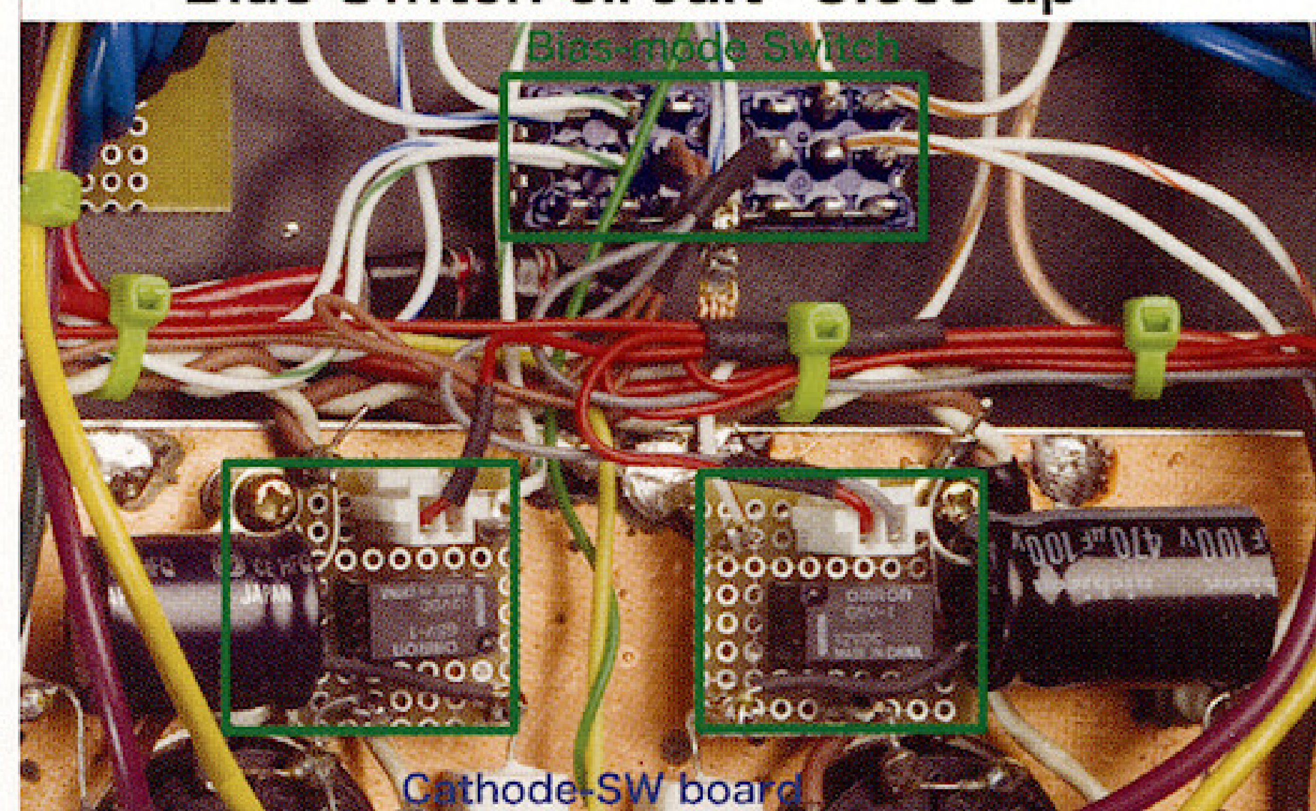
Tabel 2
Onderdelenlijst (table-2)

Foto 3
overzicht van interne bedrading

Foto 4
close up van omschakeling tussen auto-bias en zelf-bias



Bias Switch circuit -Close up



ger gelijk gehouden (binnen 0,1 mA) dan ooit met zelf-bias mogelijk is, terwijl ook veroudering van de buizen automatisch wordt opgevangen. De gevolgen hiervan zijn: meer uitgangsvermogen, hogere demping, minder vervorming en verbeterde weergave van micro-details. Mijn vrienden en ik stonden wantrouwig tegenover auto-bias, maar alle experimenten hebben aangetoond dat dit wantrouwen onterecht was. Ik sluit af met een waarschuwing: met de schakelaar kun je omschakelen tussen auto- en zelf-bias. Doe dat echt alleen maar als de versterker eerst "uit" gezet wordt, anders klinkt door de luidspreker een enorme klap, wat nooit de bedoeling kan zijn.

Gebruikte meetapparatuur

Audio Analyzer HP-8903B
Audio Oscillator Kenwood AG-204D
ATT HP-3467A
Dummy Load Homebrew 8 50W 2ch.
Digital Multi-meter Fluke 177
Oscilloscope HP-54600B

Verwijzingen

1) www.mennovanderveen.nl/nl/download/Negative_bias_supply-Aplication_Note_V.O.AN05.pdf
2) www.mennovanderveen.nl/nl/autobias-voordeel.html
3) Menno van der Veen: "High-End Buizenversterkers 2"; hoofdstuk 12; Elektor ISBN 90-5381-204-0

Kan een buizenversterker microdetails weergeven?

DOOR MENNO VAN DER VEEN

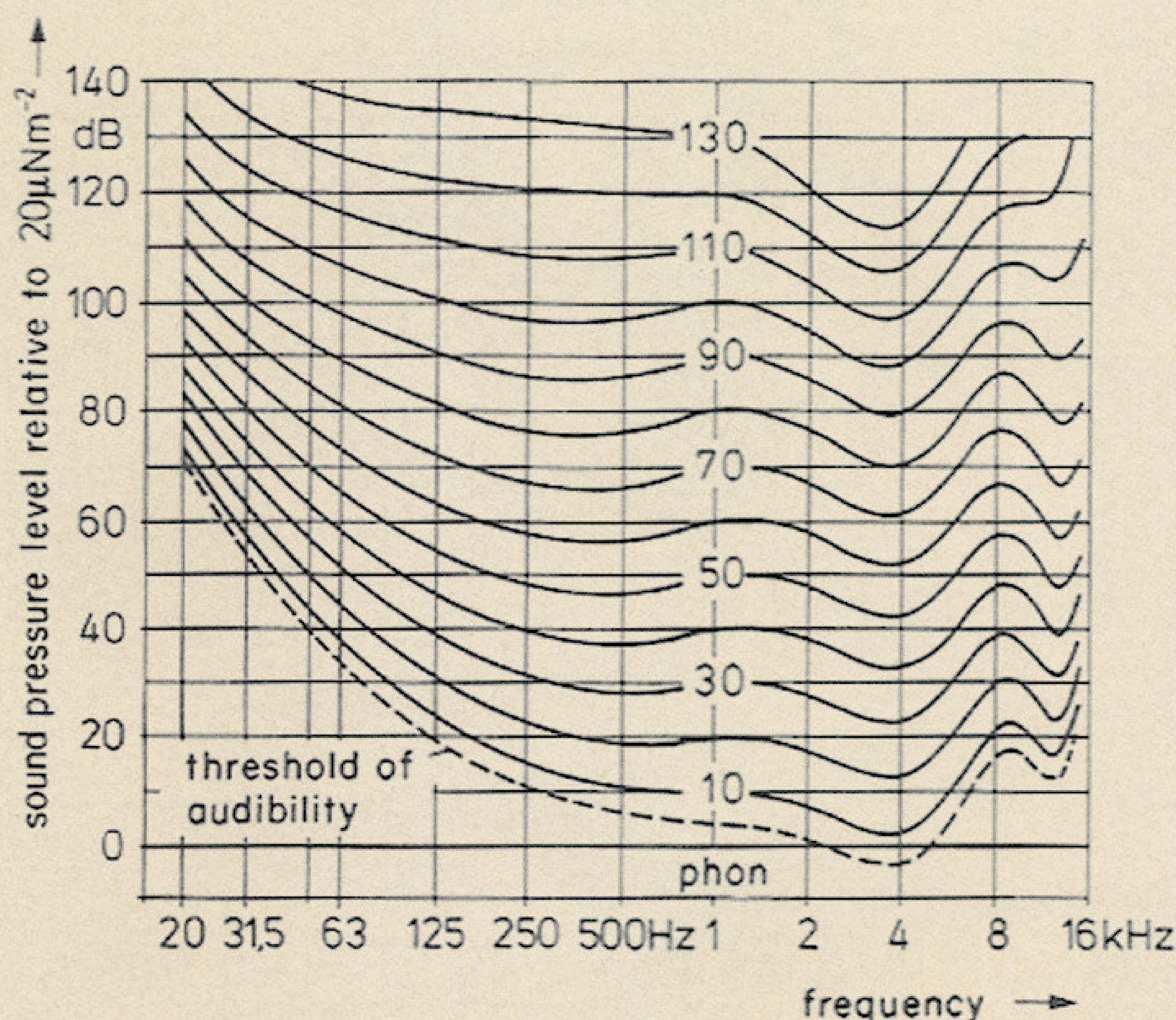
In de uitgangstransformator van een buizenversterker worden versterkte elektrische spanningen omgezet in magnetisme en vervolgens weer uit de trafo gehaald via inductie. We gaan er meestal van uit dat die complexe omzetting foutloos verloopt. Niets is minder waar. De auteur laat de grenzen van de uitgangstrafo zien, waarom die kan "klinken" en verklaart waarom Single Ended zo fantastisch goed details weergeeft. Tevens formuleert hij een nieuwe meetmethode om audiokwaliteit te bepalen.

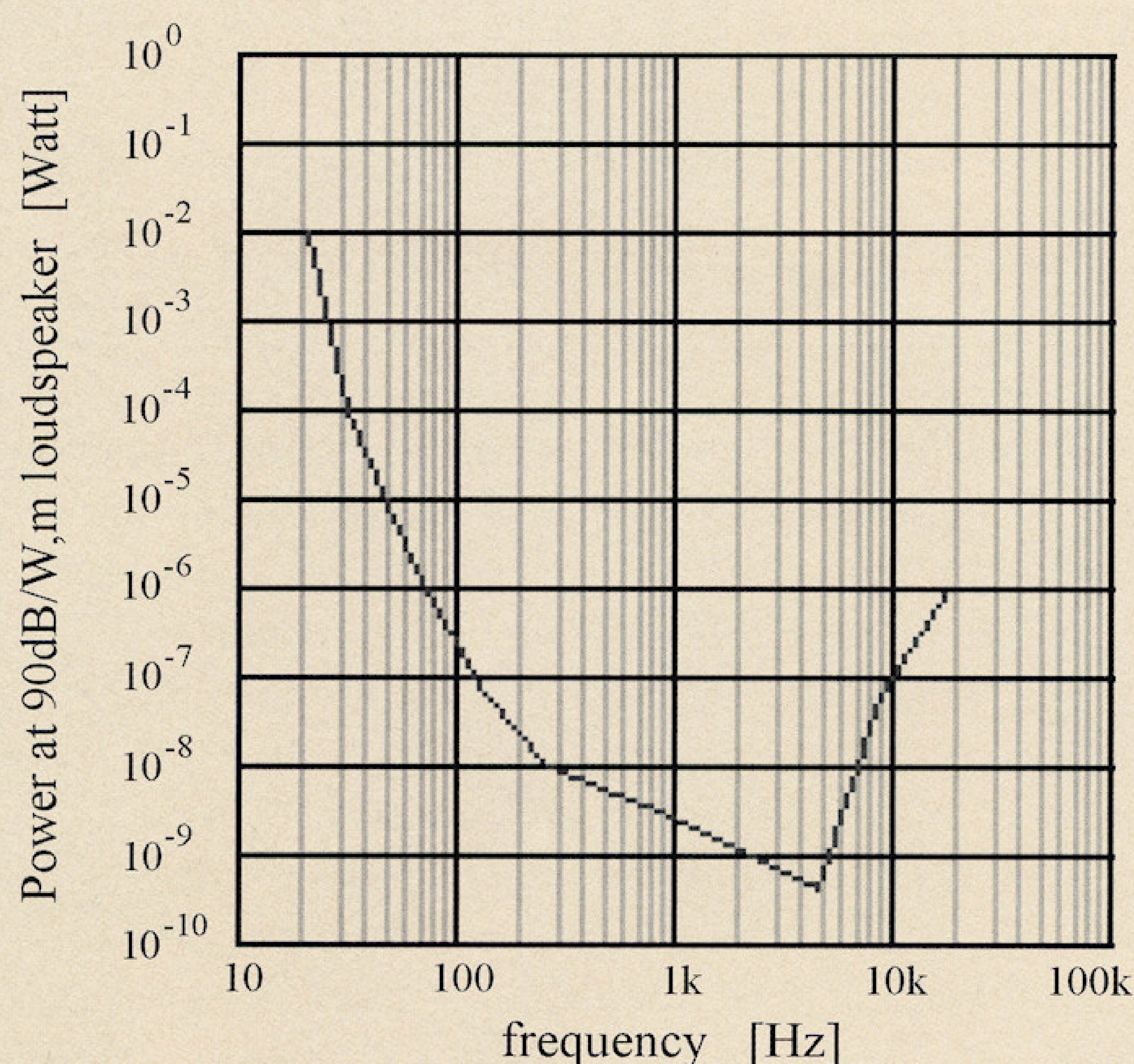
De eigenschappen van onze oren zijn indrukwekkend, vooral als je ook de verwerking van audio door de hersenen meeneemt. Je kunt niet anders dan groot ontzag hebben voor hoe geweldig onze oren zijn. Sommige versterkers meten fantastisch en klinken naar niks en het omgekeerde komt ook voor. Onze oren kunnen die verschillen goed waarnemen, terwijl metingen ons nog steeds niet goed kunnen vertellen wat er mis is. Meten we niet goed of zijn onze metingen niet zinvol en moeten we totaal andere eigenschappen gaan meten? De audiowereld staat bol van pogingen om met zinvolle metingen voor de dag te komen. Ook ik heb me daar mee bezig gehouden en uiteindelijk besloten om een omgekeerde benadering te gaan gebruiken. Als we nu eens uit gaan van bekende eigenschappen van ons horen, dan kunnen we van daar uit onderzoeken of een versterker wel aan die eigenschappen kan voldoen. In dit artikel geef ik een eenvoudig voorbeeld van die omgekeerde benadering.

Ik gebruik de al lang bekende gegevens van de ondergrens van ons horen (audibility threshold). In eerder onderzoek is per frequentie bepaald hoe zwak/zacht het geluid kan zijn zodat we het net nog kunnen horen. Uit dat onderzoek is een ondergrens grafiek naar voren gekomen die voor de meeste mensen klopt. Luisteraars met gouden oren horen misschien nog iets dieper, maar in dit onderzoek ga ik er van uit dat iedereen dezelfde ondergrenzen heeft.

Ik geef een voorbeeld: neem een sinustoon van 4 kHz, draai deze steeds zachter, we kunnen hem nog steeds horen, hij verdwijnt echter als de luidheid (SPL = sound pressure level) minder wordt dan -4 dBspl. Stel je vervolgens voor dat die 4 kHz toon wordt weergegeven door een luidspreker met een rendement van 90 dB/W,m, dan kunnen we berekenen (ik laat verderop zien hoe dat gaat) hoeveel versterkervermogen er nodig is om op een luisterafstand van 1 meter die -4 dBspl te bereiken. Dat vermogen is verbazingwekkend klein, namelijk 4.10^{-10} Watt (= 0,0004 microWatt = 0,4 nanoWatt). We meten versterkers standaard bij 1 Watt of bij maximum vermogen, maar weten we dan wel zeker of de versterker ook goed werkt bij 0,4 nW? Ik kan me niet herinneren dat ik ergens in de literatuur ben tegengekomen dat iemand bij zulke kleine vermogens metingen verricht heeft.

In mijn werk houd ik me bezig met buizenversterkers en uitgangstransformatoren (1-5), dus ik heb daarvan vele verschillende exemplaren ter beschikking. Ik besloot om specifiek bij de uitgangstransformator (OPT = output transformer) te gaan onderzoeken of die zulke kleine vermogens wel goed door kan geven.





Figuur 1
ISO-curves van het menselijke oor.

Figuur 2
Vermogen voor een 90dB/W,m luidspreker om op 1 meter afstand de net hoorbare ondergrens weer te geven

Als ik nu verder ga met het 4 kHz voorbeeld, dan kan ik berekenen hoeveel magnetisme (fluxdichtheid) in de kern van de OPT nodig is. Opnieuw is dit verbazingwekkend weinig, namelijk slechts 10^{-8} Tesla (= 10 nT). De ijzeren kern van de OPT bestaat uit minuscule beweegelijke magnetische gebiedjes (gebiedjes van Weiss = groepjes van geclusterde atomen waarvan de magnetische as dezelfde richting uit wijst) die gaan draaien als het magnetische veld verandert. Maar kunnen die Weissgebiedjes nog wel bewegen als de fluxdichtheid zo gering wordt? Als ze klem komen te staan omdat de magnetische kracht te gering is om ze te draaien, dan kan de trafo zo'n klein audiosignaal niet meer goed doorgeven. Ik bedacht nieuwe meetmethodes om dit te onderzoeken en vond inderdaad dat bij zulke kleine vermogens de trafokern het laat afweten; de beweeglijkheid van de Weissgebiedjes wordt te gering om deze kleine vermogens onverzwakt door te geven.

Je kunt deze verzwakking ook op een andere manier formuleren. Doordat de Weissgebiedjes niet meer voldoende kunnen bewegen, wordt de zelfinductie Lp (= elektrische eigenschap van de primaire wikkeling) van de primaire trafowikkeling te klein. Deze zelfinductie vormt samen met de eindbuizen een eerste orde hoogdoorlaat filter (HPF = high pass filter). De zelfinductie wordt bij lagere signaalniveaux steeds kleiner en daardoor schuift de grensfrequentie van het HPF in het hoorbare audiobereik (20 - 20.000 Hz). Daardoor wordt het kleine audiosignaal extra verzwakt en zakt het onder de hoordrempel; we kunnen het niet meer waarnemen.

In de loop van dit artikel zal ik ook nog aantonen dat de gebruikte eindbuizen en push-pull of single ended schakelingen extra invloed hebben omdat die mede de grensfrequentie van het HPF beïnvloeden.

Dit onderzoek plaatst heel veel versterkereigenschappen in een holistisch beeld. Door specifiek te kijken naar microsignalen (microdetails in geluid) en de versterking daarvan, kunnen we nu begrijpen waarom sommige versterkers zo fantastisch klinken, terwijl andere "prut" zijn. Versterkers onderzoeken van uit de fantastische eigenschappen van ons oor levert verrassende inzichten op. Via die route kun je "objectief" verklaren wat je "subjectief" hoort.

Opbouw van het micro-detail model

Figuur 1 toont de ISO curves (grafieken van gelijke luidheid) van onze oren. Het figuur is overgenomen uit het bekende standaardwerk van Blauert (6).

De onderste gestippelde lijn is de ondergrens van ons horen in een totaal stille omgeving. Geluiden die onder die lijn liggen kunnen we niet meer horen. Stel je nu eens voor dat je een luidspreker gebruikt met een rendement η van bijvoorbeeld 90dB/W,m. Neem vervolgens aan dat je op een afstand van d meter van de luidspreker staat te luisteren. Om een zeker luidheidsniveau SPL(f) bij een zekere frequentie f weer te geven, heeft de luidspreker een versterkervermogen van P Watt nodig. Formule 1-1 laat zien hoe je P kunt berekenen.

$$P(f) = 10^{[SPL(f) - \eta + 20\log(d)]/10} \qquad 1\text{-}1$$

Om dit onderzoek hanteerbaar en eenvoudig te houden, nemen we aan dat de luidspreker een volkomen rechte frequentiekarakteristiek heeft. Ook nemen we aan dat de impedantie van de luidspreker voor alle frequenties dezelfde waarde heeft. Later zeg ik wel meer over deze aannames, ze zijn iets te strak, maar je moet ergens beginnen. Uitgaande van de gestippelde onderste kromme in figuur 1 heb ik vervolgens met formule 1-1 berekend hoeveel vermogen de luidspreker nodig heeft om op 1 m afstand het vereiste geluidsniveau te produceren. De resultaten staan in figuur 2.

Laten we nu eens naar de buizenversterker gaan kijken. Ik neem aan dat de eindbuizen geweldig zijn, helemaal

foutloos, en concentreer me op de uitgangstransformator. Stel dat deze een primaire impedantie heeft van Z_{aa} = 4000 Ohm. Laten we ook aannemen dat de OPT verliesvrij werkt (het rendement van een goede OPT ligt in de buurt van 95 %, nu maak ik er voor de eenvoud 100 % van). Met formule 1-2 kan ik nu berekenen hoeveel wisselspanning de eindbuizen naar de primaire wikkeling moeten sturen om de ondergrens net weer te kunnen geven. Figuur 3 toont het resultaat van deze berekening.

$$Vaa = \sqrt{P \cdot Zaa} \quad (1\text{-}2)$$

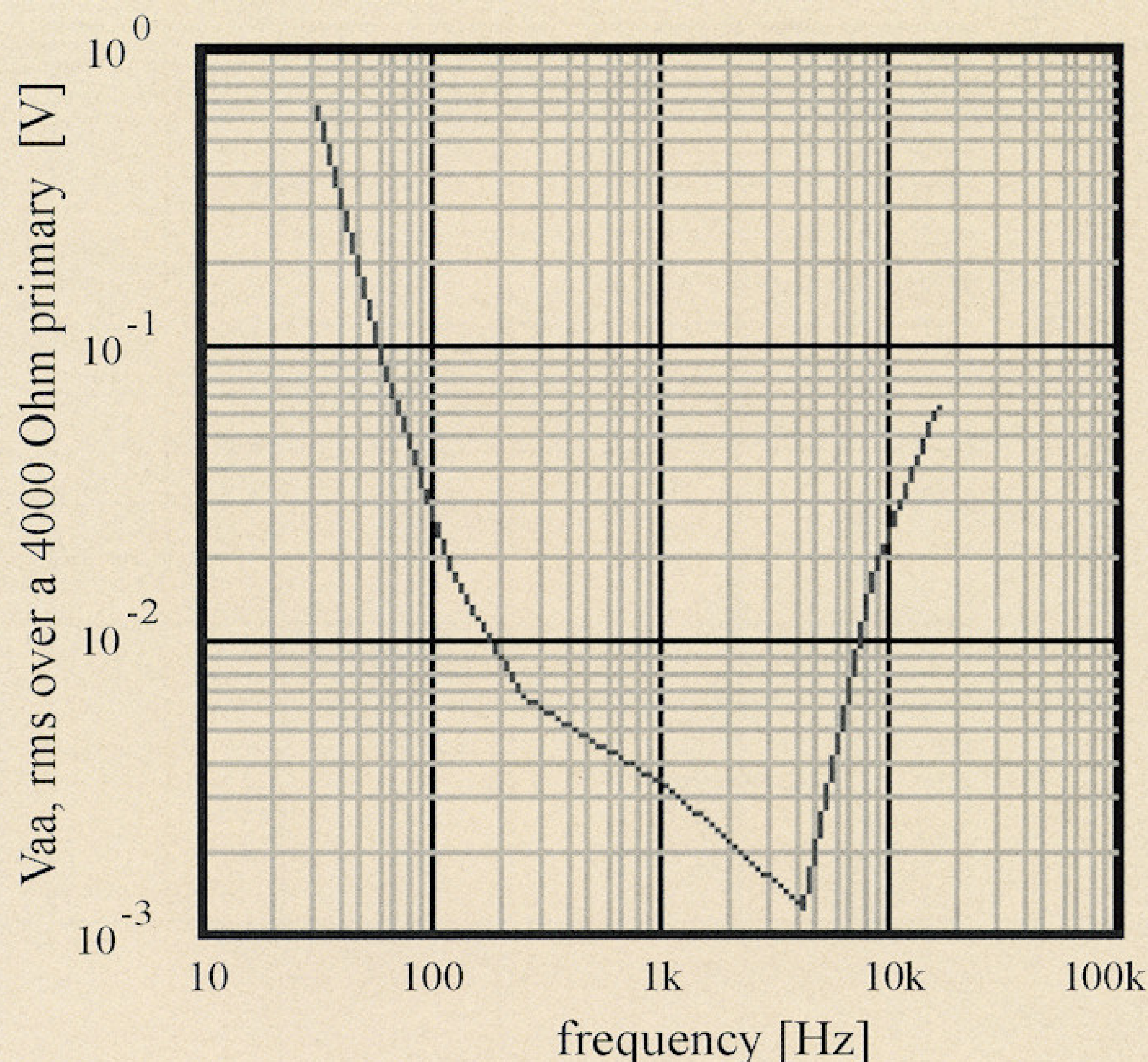
Laten we nu een voorbeeld OPT nemen met primair Np = 2000 windingen en een kernoppervlak A = 10^{-3} m². Met formule 1-3 kan nu de amplitude van de magnetische fluxdichtheid B in de kern worden berekend. De resultaten daarvan staan in figuur 4.

$$B = \frac{Vaa\sqrt{2}}{2\pi fNpA} \quad (1\text{-}3)$$

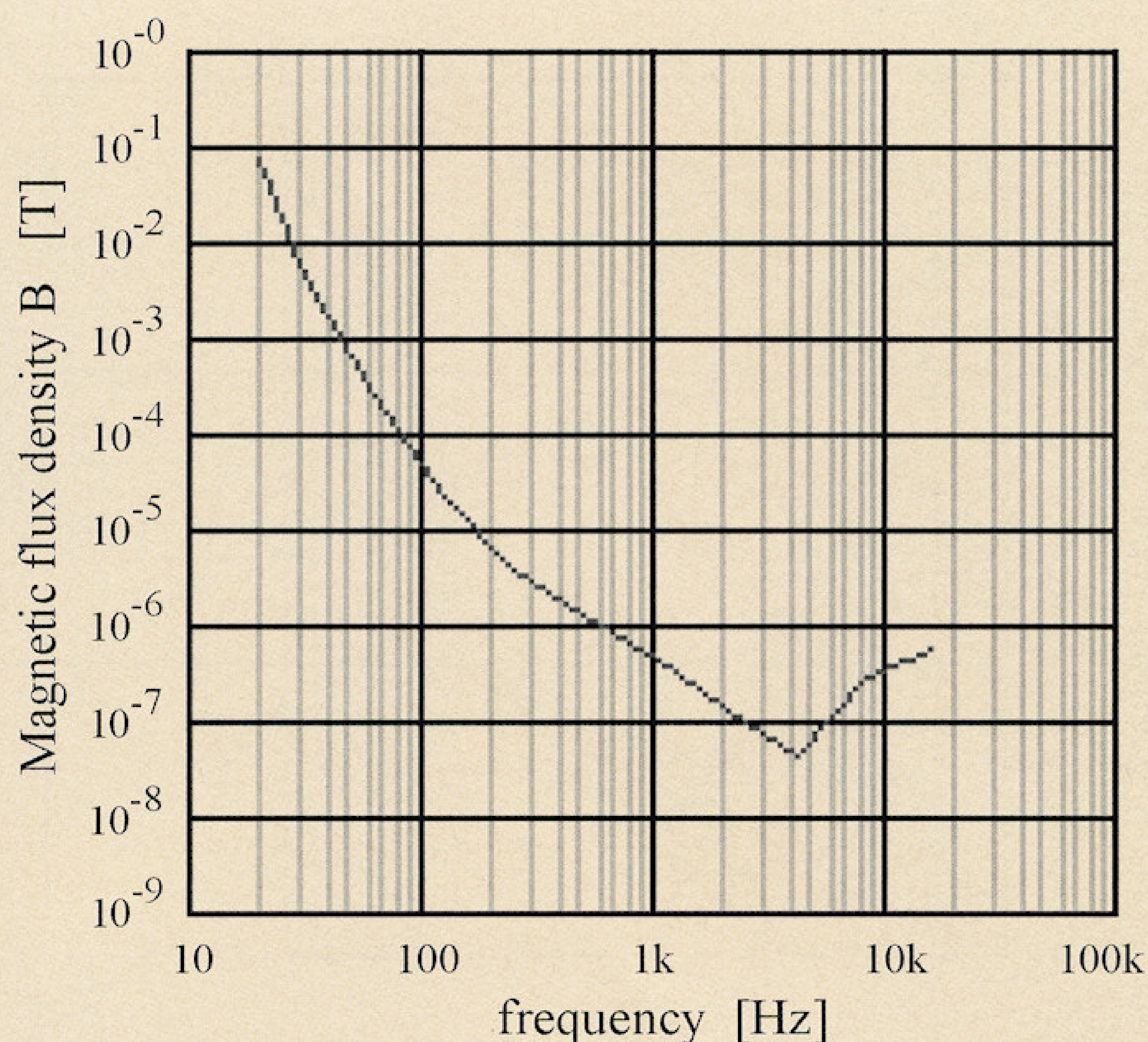
De resultaten van figuur 4 maakten me heel bezorgd. Ik had me tot nu toe niet gerealiseerd hoe weinig magnetisme in de kern komt bij de weergave van microsignalen, het is zelfs minder dan de sterkte van het aardmagnetische veld. Kunnen de Weissgebiedjes nu nog wel bewegen? Die beweeglijkheid wordt uitgedrukt in de grootheid "relatieve magnetische permeabiliteit µr ". Eerst ging ik in de literatuur zoeken of er gegevens te vinden zijn over staalsoorten en hun permeabiliteit bij heel zwakke velden, maar de meeste databoeken gaven slechts tussen 0,1 en 2 T informatie, terwijl ik hier met veel zwakkere velden te maken heb. Daarom ben ik zelf metingen gaan doen aan twee soorten trafostaal: GOSS (= grain oriented silicon steel) wordt vaak in voedingstrafo's gebruikt; VM111 is een verfijnder staal met betere audio eigenschappen en wordt regelmatig in OPT's toegepast. De resultaten van mijn metingen staan in figuur 5.
Beneden 10^{-3} T blijft er nog wel wat beweeglijkheid over, maar het is niet veel. De uitkomst hangt een beetje van de temperatuur van de kern af (de permeabiliteit wordt 0,07 % groter per graad Celsius temperatuursverhoging), maar voor dit onderzoek is dat effect verwaarloosbaar.

Figuur 4 levert de fluxdichtheden bij de ondergrens. Met figuur 5 kan nu de permeabiliteit op de ondergrens bepaald worden. Daarmee kan vervolgens de zelfinductie Lp van de primaire wikkeling worden berekend. Wat extra nog nodig zijn is de effectieve lengte lc van de magnetische veldlijnen in de kern, en of er misschien in de kern een spleet zit met spleetafstand lg. Formule 1-4 laat zien hoe Lp berekend kan worden.

$$Lp = \frac{\mu_0 Np^2 A}{\lg + lc / \mu_r} \quad (1\text{-}4)$$



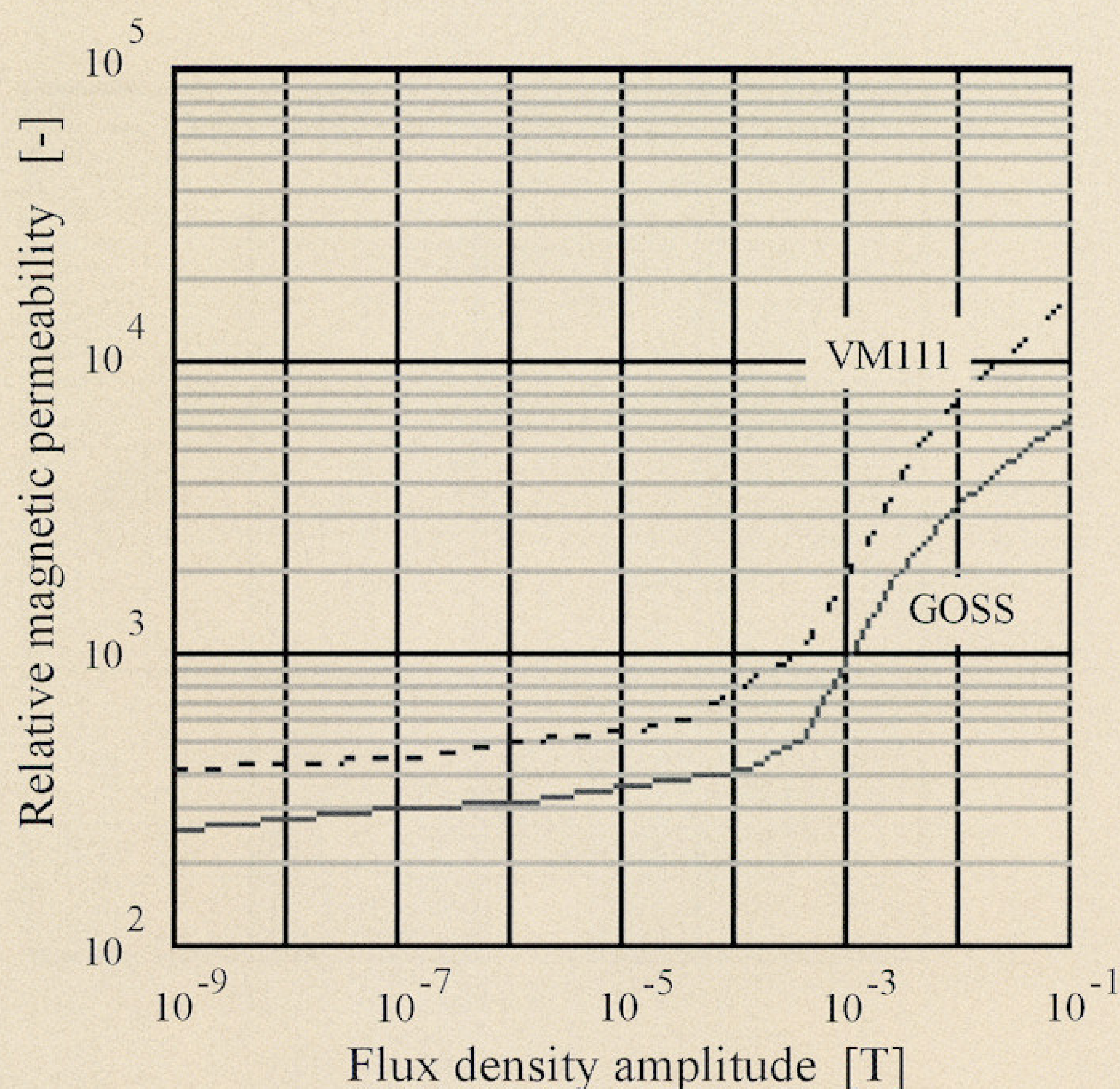
Figuur 3
Effectieve primaire wisselspanning voor ondergrens

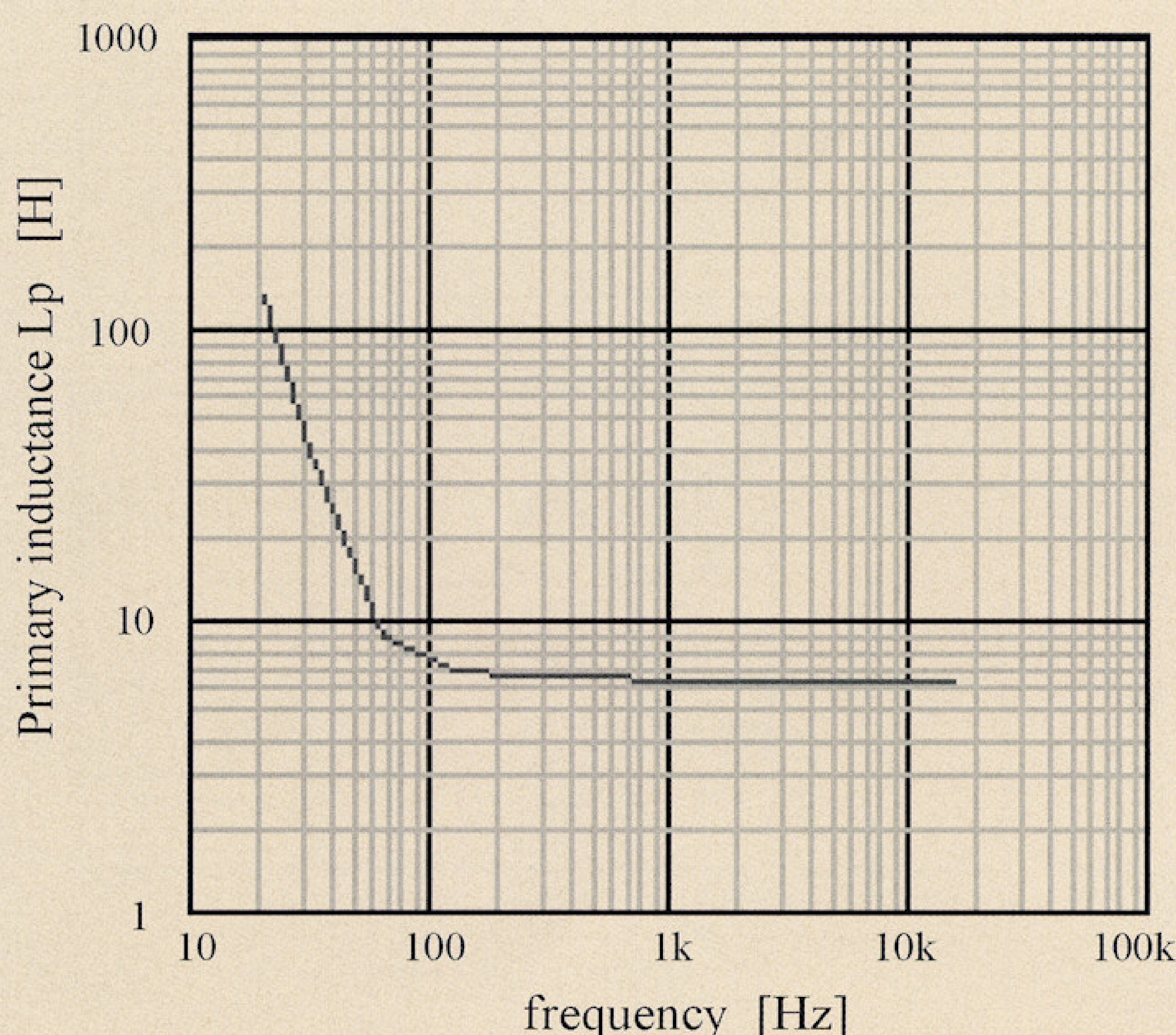


Figuur 4
Magnetische fluxdichtheid B in de kern bij ondergrens productie.

Ik heb deze berekening verricht voor een GOSS-kern met $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Hm^{-1} (permeabiliteit van vacuüm) en een trafo met lc = 0,236 m en lg = 0 m (geen spleet); zie voor de resultaten figuur 6.

Duidelijk is zichtbaar dat Lp niet constant is en instort tot redelijk kleine waardes bij wat hogere frequenties. De volgende vraag is cruciaal in mijn onderzoek: "is Lp wel groot genoeg om de audiosignalen onverzwakt door de transformator te sturen"? Om die vraag te kunnen beantwoorden is een geschikt model van de buizenversterker nodig, want nu gaan de eindbuizen ook invloed hebben. Eerder heb ik al zo'n model voorgesteld (zie 1-4) en dat model heeft zijn geldigheid ruimschoots bewezen. Daarin worden de eindbuizen opgevat als een wisselspanningsbron met in serie de gesommeerde inwendige weerstanden Ri,eff van beide eindbuizen. Die bron





Figuur 5
Metingen van μr van 10^{-8} tot 10^{-1} T; extrapolatie beneden 10^{-8} T. De maximale meetfout beneden 10^{-3} T is 20 %.

Figuur 6
Primaire inductie Lp voor GOSS bij de ondergrens

stuurt Lp aan met daaraan parallel de primaire impedantie Z_{aa}. Als de luidspreker een constante impedantie heeft (en dat neem ik nu aan), dan is Z_{aa} ook mooi constant. Figuur 7 toont het schema van dit model.

Het model in figuur 7 laat zien dat de eindbuizen plus OPT op te vatten zijn als een wisselspanningsbron die via een weerstand een spoel Lp aanstuurt. Dit is een eerste orde HPF en de overdracht H(f) (het frequentieafhankelijke deel) wordt door formule 1-5 gegeven. Daar is s = j2πf en Req is Ri.eff parallel met Z_{aa}.

$$H(f) = Vout / Vin = \frac{s.Lp}{Req + s.Lp} \qquad 1\text{-}5$$

Laten we als voorbeeld eens aannemen dat we een balansversterker hebben met pentode eindbuizen die elk een inwendige weerstand hebben van 15 kΩ. Dan is Ri,eff = 30 kΩ. Deze staat parallel aan Zaa = 4 kΩ, resulterend in Req = 3,53 kΩ. Met de Lp resultaten van figuur 6 kan nu de overdracht (= verzwakking) door de OPT berekend worden. De resultaten staan in figuur 8.

Mijn eerste vermoeden was dat de extra verzwakking bij hogere frequenties zou plaatsvinden, omdat Lp daar drastisch in elkaar stort. De rekenresultaten laten zien dat er een verzwakking optreedt hoofdzakelijk tussen 20 Hz en 1 kHz. Met figuur 9 kan ik dit frequentiegebied uitleggen. Daarin voer ik een fictieve Lp'(f) ten tonele die op de ondergrens een extra verzwakking van -1 dB genereert. Nu is zichtbaar dat die Lp'(f) een gebied van de werkelijke Lp afsnijdt en waarom dit gebied ongeveer tussen 20 Hz en 1 kHz komt te liggen.

Uit figuur 8 kan de volgende hoofdconclusie getrokken worden: tussen 20 Hz en 1 kHz treedt er in de uitgangstransformator een extra verzwakking op. De oorzaak daarvan is de te geringe beweeglijkheid van de Weissgebiedjes. Door die extra verzwakking vallen de microdetails in het geluid onder de gehoordrempel en zijn daardoor niet meer waarneembaar; ze zijn verloren gegaan.

Bewijzen voor het microdetail model

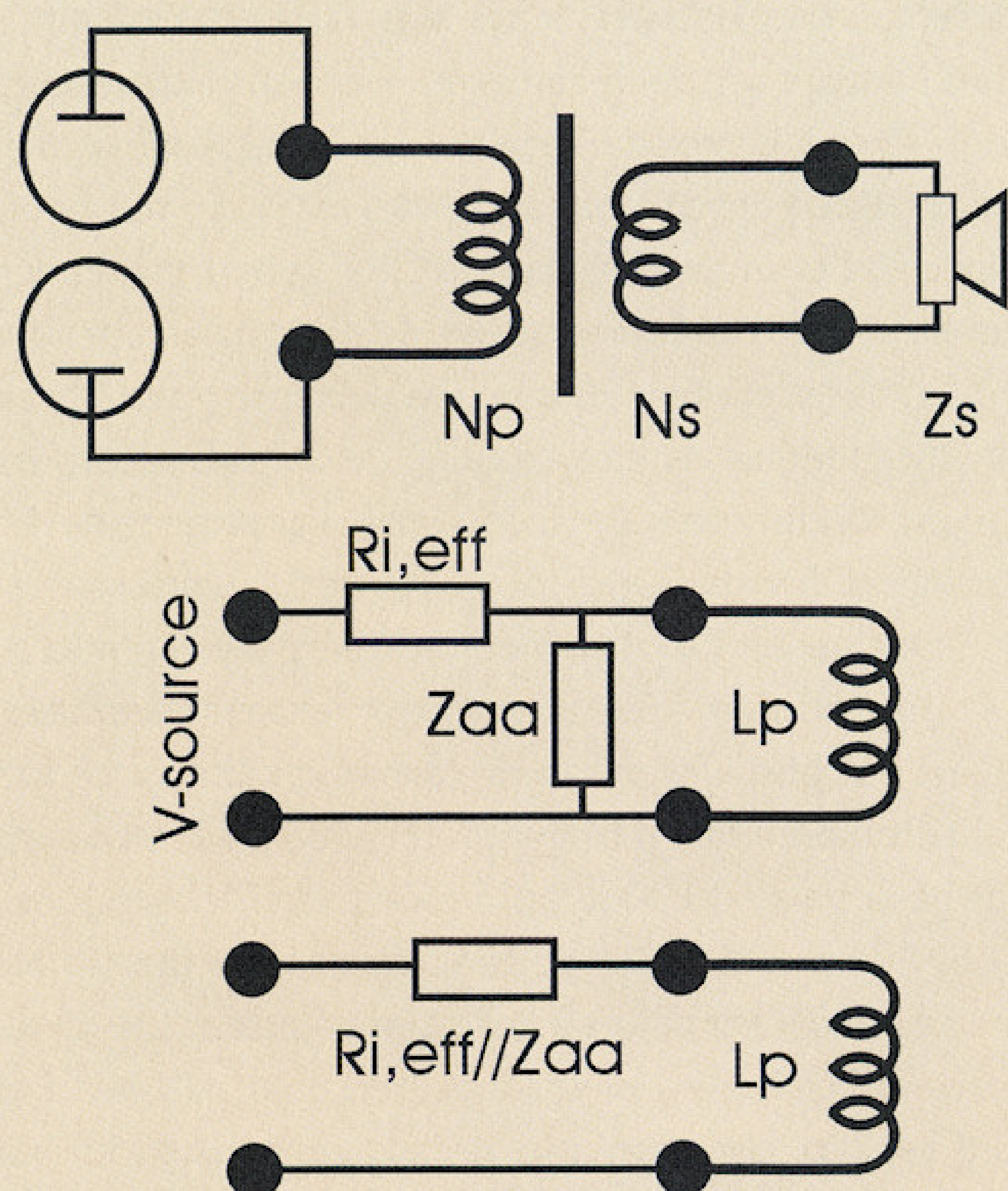
Voordat ik resultaten van dit onderzoek verder beschrijf, is nu de vraag gerechtvaardigd of er ook bewijzen bestaan voor het hier ten tonele gevoerde model. Ja, die bewijzen zijn er.

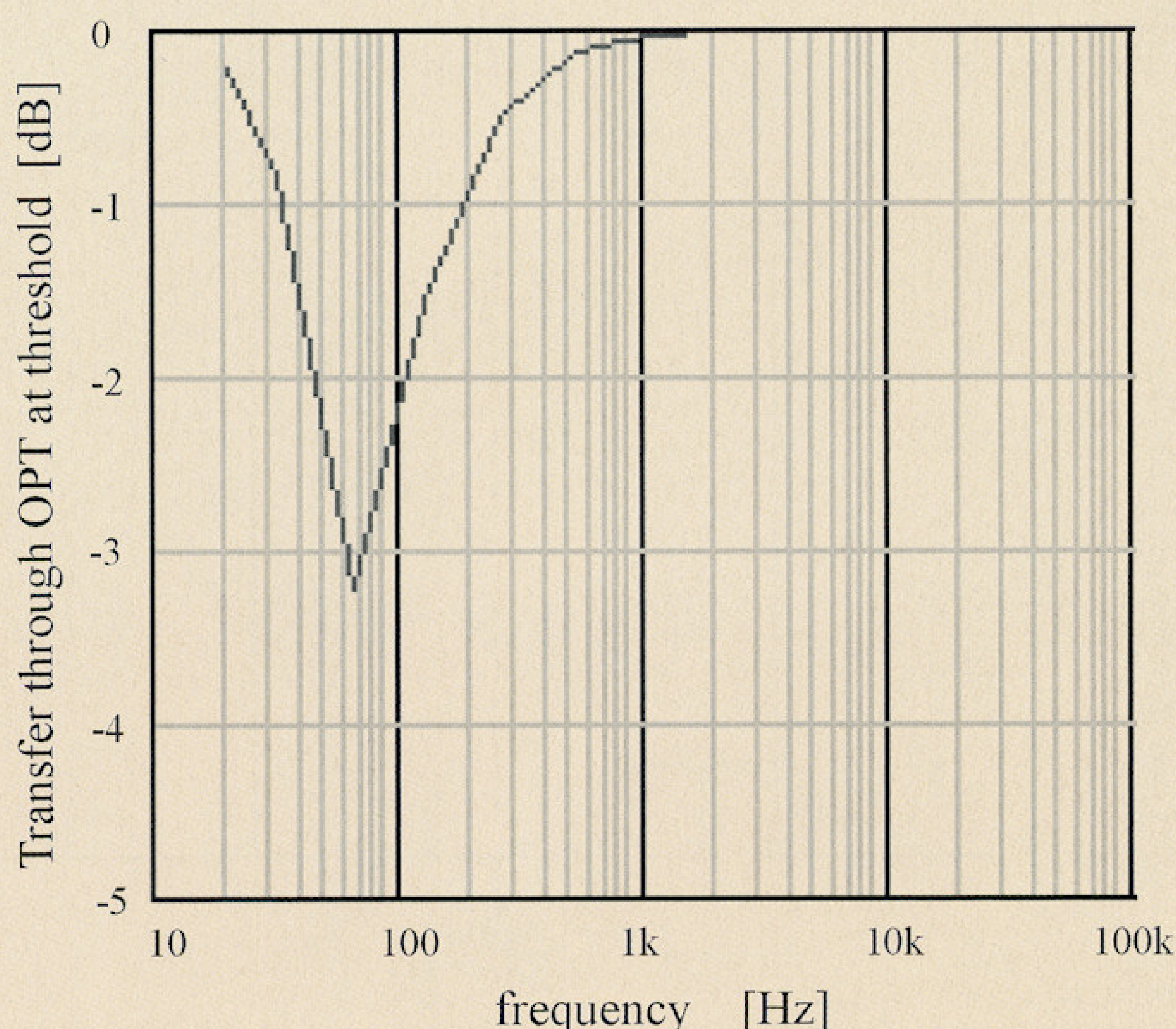
Het eerste bewijs berust op eigen metingen waarbij ik de versterkingsfactor van een buizenversterker (zonder tegenkoppeling) bepaalde bij steeds kleiner wordende ingangsspanningen. Daarbij bleek dat onder een bepaald spanningsniveau de versterking begon af te nemen.

In een gesprek met Tim de Paravicini (7) werd het model ook nog eens bevestigd. Hij vertelde over metingen van hem waar bij versterkers en bandrecorders het -3 dB frequentiebereik kleiner werd (de laaggrens kroop omhoog) bij afnemend signaalniveau.

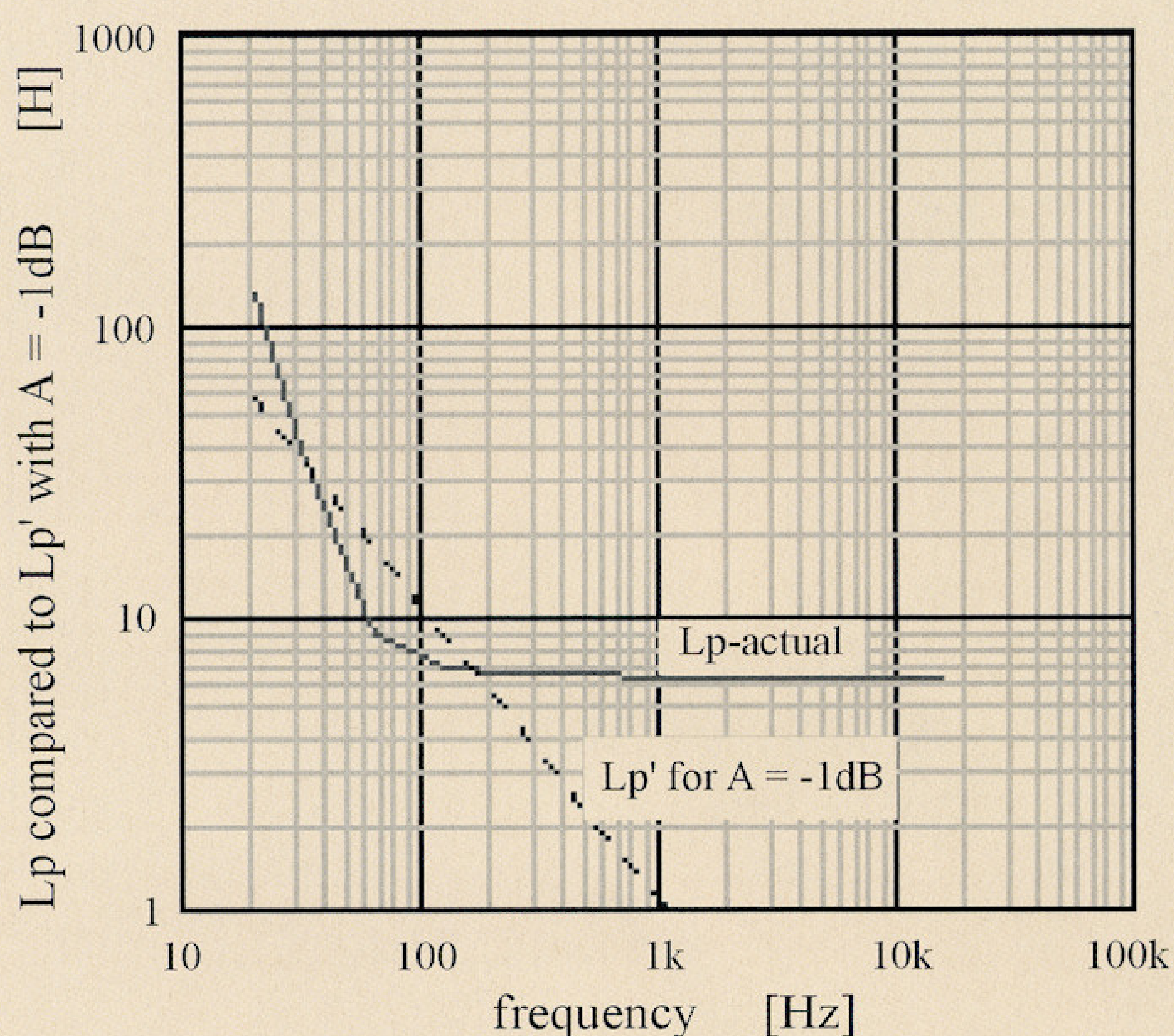
Een derde bewijs kwam van experimenten van Joe Rasmussen (8) die in zijn uitgangstrafo extra een hoogfrequent signaal stuurt om de Weissgebiedjes los te schudden (bij bandrecorders gebeurt hetzelfde met de hoogfrequente bias) en dat dit een veel betere hoorbaarheid van microdetails oplevert.

Het vierde bewijs werd geleverd door Lukasz Jaszczuk die als student van de KHLim hogeschool bij mij een stage liep. Hij mat met de Rhode & Schwarz UPL16 audio analysator uiterst precies de verzwakking in de uitgangstrafo, en deze bleek heel goed overeen te komen met het alhier besproken model. Hij ontdekte ook dat extra aandacht nodig is voor een uiterst precieze balancering van de ruststromen door de eindbuizen van





Figuur 7
Equivalent circuit van een buizenversterker die via een OPT een luidspreker aanstuurt.



Figuur 8
Afwijking van lineaire overdracht op de ondergrens bij Z_{aa} = 4 kΩ, Ri,eff = 30 kΩ, η = 90 dB/W,m, d = 1 m, GOSS

Figuur 9
Lp vergeleken met Lp' die een verzwakking van A = -1 dB oplevert.

de eindversterker. Als die niet exact gelijk zijn kan het verschil in russtromen de kern van de OPT magnetiseren in één richting, waardoor de Weissgebiedjes extra klem komen te staan, waardoor de permeabiliteit nog eens extra afneemt. Zie (14) voor meer details van dit onderzoek.

Met al deze bewijzen is er meer dan voldoende grondslag aanwezig voor acceptatie van het model; het beschrijft de werkelijkheid. Daarom kan ik nu rustig in de volgende delen van dit artikel de effecten van het model nader bestuderen, zoals wat de invloed van de afstand d is, of de invloed van het rendement van de luidspreker of typen eindbuizen enzovoort. Daarbij gebruik ik de resultaten van figuur 8 steeds als referentie om mee te vergelijken.

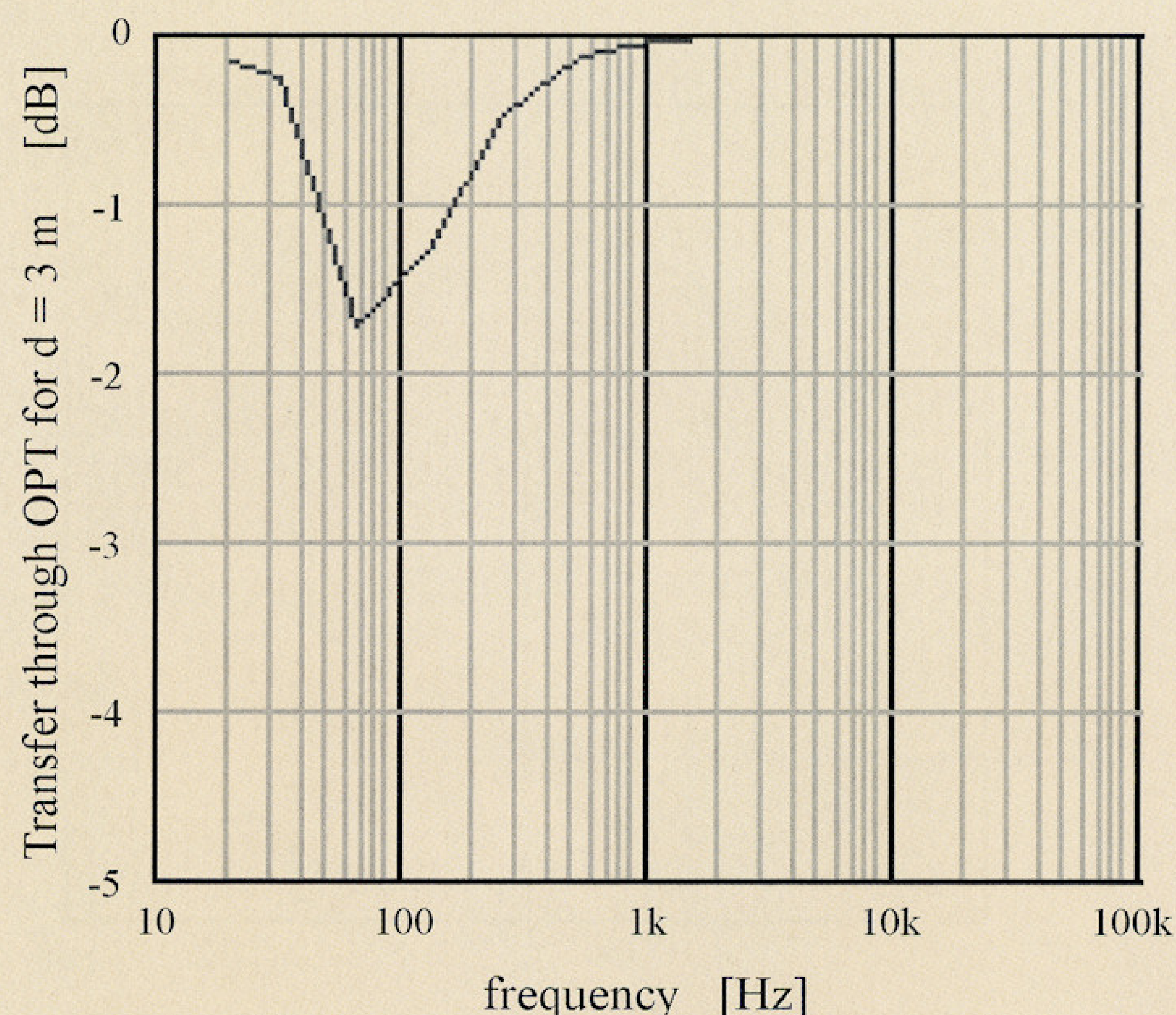
De invloed van de afstand d tot de luidspreker

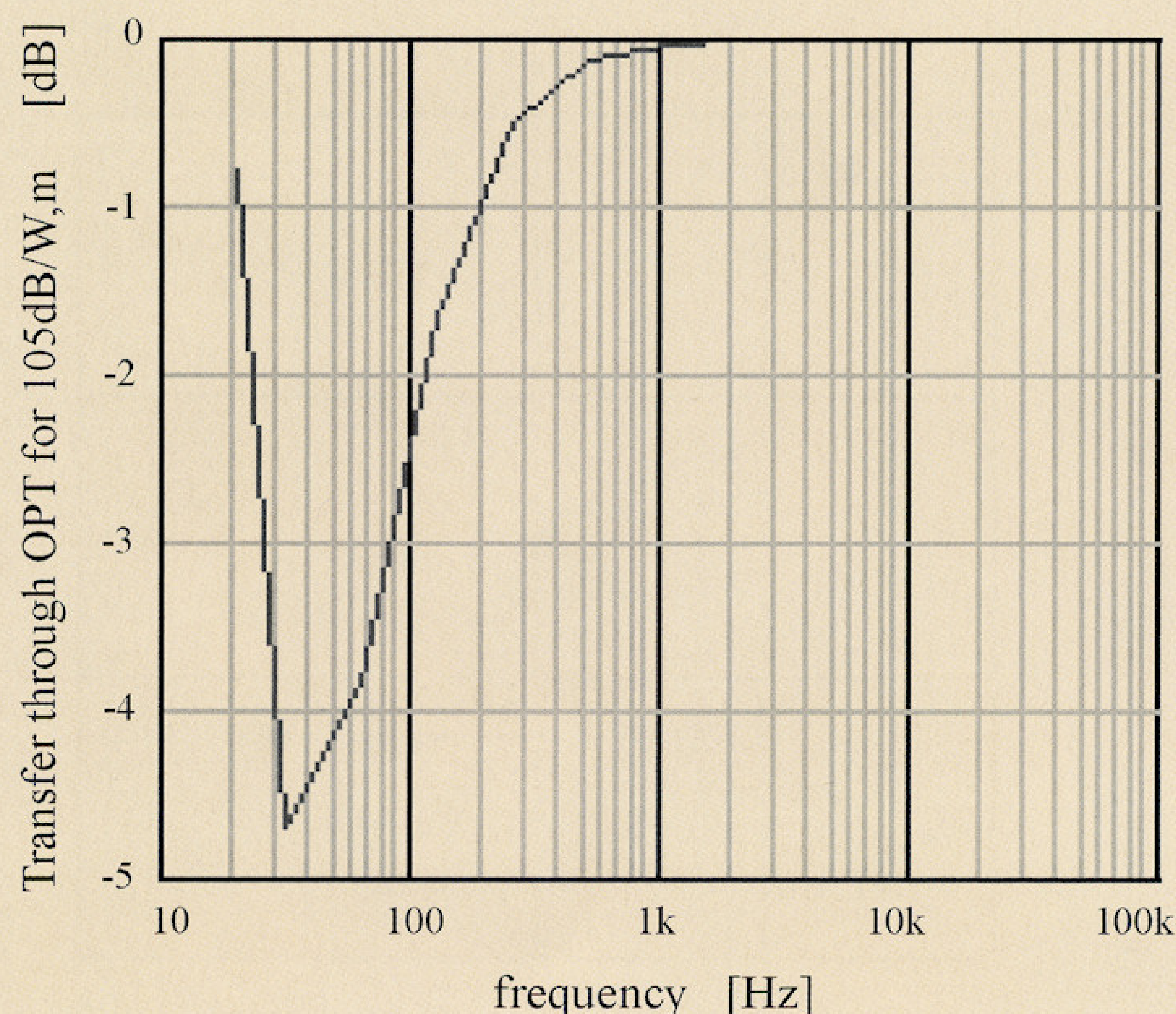
Als we verder van de luidspreker weg gaan staan, d wordt groter, dan moet er meer vermogen naar de luidspreker gestuurd worden om dezelfde luidheid te bewerkstelligen. Figuur toont de resultaten als we d vergroten 1 naar 3 m. Alle andere gegevens zijn gelijk aan die in figuur 8.

De afwijking van lineaire onverzwakte overdracht zijn nu minder dan in figuur 8. De versterker moet harder werken, de permeabiliteit is dan groter, dus de verzwakking geringer. Het heeft nu geen zin om d nog verder te vergroten; de invloed van de afstand d is bekend en begrijpelijk en 3 meter luisterafstand is een redelijke huiskamer afstand.

De invloed van het luidspreker rendement

Stel je voor dat we nu een hoog rendement hoornluidspreker gaan gebruiken met een rendement van 105 dB/W,m. Zulke luidsprekers kom je vaak tegen bij de echte audiofielen en ze worden als de hoogste graad van perfectie beschouwd. We gaan weer luisteren op d = 1 m, en dan kunnen we eigenlijk zonder rekenen al voorspellen wat er gaat gebeuren. De luidspreker heeft minder vermogen nodig om evenveel geluid te produceren als een 90 dB/W,m speaker. Er is dan minder magnetisme, de permeabiliteit wordt extra kleiner, en daardoor wordt de verzwakking groter. Figuur 11 toont de resultaten van de berekening en die zijn volledig in overeenstemming met de hier gevoerde redenering.





Figuur 10
Verzwakking bij d = 3 m; vergelijk met fig.-8 waar d = 1 m.

Figuur 11
Verzwakking bij η = 105 dB/W,m; vergelijk met fig.-8 met 90 dB/W,m

Toch is dit resultaat wat verrassend. Men beschouwt zulke hoornluidsprekers als het beste wat je te pakken kunt krijgen, terwijl ze slechter microdetails weergeven? Maar kijk eens goed naar de versterkers die zulke hoornluidsprekers aandrijven. Dat zijn meestal single ended versterkers met lage mu triodes. Verderop zal ik aantonen dat die versterkers wel uitmuntend bij hoornluidsprekers passen. In onze rekenpartij werkten we echter met een pentode balansversterker en die past niet zo goed bij hoorns. Ik besloot een extra proef te doen en nam een pentode versterker die goed klinkt op een luidspreker van 90 dB/W,m. Vervolgens sloot ik die versterker aan op een hoorn met 105 dB/W,m, en inderdaad, het geluid begon grinderig te klinken en de ruimtelijkheid van de weergave was niet meer optimaal. Dit onderschrijft volledig de resultaten van figuur 11.

De invloed van de frequentiekarakteristiek van de luidspreker

Iedere luidspreker heeft zijn eigen frequentiekarakteristiek en afstraalpatroon. Het doel van deze studie is niet om naar die eigenschappen te kijken, maar om te onderzoeken wat er in de kern van de OPT gebeurt. Met een gegeven luidspreker, waarvan we de eigenschappen constant veronderstellen, kunnen we verhipte goed horen of er microdetails verloren gaan in de OPT. Daarom wil ik in dit onderzoek de frequentie karakteristiek en afstraling verder niet centraal stellen. Ieder went aan zijn eigen speaker en kan daarmee de weergave van microdetails bestuderen. Het is overigens verbazingwekkend hoe ons oor afwijkingen van de rechte karakteristiek kan accepteren en na zo'n 5 minuten luisteren al niet eens meer hoort. Lees ook de opmerking van Morgan Jones (11) in "discussie en conclusie" waar hij onderscheid maakt tussen variabele en constante fouten. De afwezigheid van microdetails wordt echter altijd gehoord; het geluid verliest zijn resolutie, details verdwijnen en het klinkt niet meer vloeiend. Dat is op nagenoeg iedere speaker te horen.

De invloed van de primaire impedantie Z_{aa}

Voor het gemak zegt men meestal dat een transformator een primaire impedantie heeft, maar iedereen weet natuurlijk dat dit niet zo is. De echte primaire impedantie ontstaat vanuit de impedantie Zs(f) van de luidspreker, vermenigvuldigd met het kwadraat van de windingsverhouding Np/Ns. Eigenlijk moet je de ohmse weerstanden van de primaire en secundaire wikkelingen ook nog meenemen. Bij hoge frequenties tellen de lekinductie en de inwendige primaire capaciteit ook nog mee, terwijl bij lage frequenties Lp veel invloed heeft. Zie (1-4) voor veel informatie over dit onderwerp.
Als voorbeeld neem ik nu de impedantie van een basreflex luidspreker, met zijn twee impedantiebulten in het laagfrequent bereik. Zie voor deze karakteristiek figuur 12. Om verder te kunnen rekenen neem ik aan dat de primaire impedantie Zaa met deze luidspreker bij 1 kHz precies 4 kΩ bedraagt.

Wanneer we deze resultaten vergelijken met die van figuur 8 (let ook op de nu grotere verticale schaal) dan blijkt vooral de tweede resonantiebult bij 70 Hz extra verliezen te veroorzaken. Van Maanen and Zonneveld (13) ontwikkelden een methode voor impedantiecorrectie en de resultaten van dit onderzoek laten zien hoe belangrijk hun werk is. Constante frequentieonafhankelijke impedantie verbetert de microdetail weergave.

De invloed van Ri,eff

In de voorbeelden tot nu toe gebruikte ik een balans buizenversterker met pentode eindbuizen die elk een inwendige weerstand hebben van 15kΩ. Deze inwendige weerstanden zijn behoorlijk groot en daarom veroorzaakt het Req-Lp filter aanzienlijke extra verliezen in het bereik van 20 Hz tot 1 kHz. Nu ga ik de pentodes vervangen door lage mu triodes, zoals de 300B triode, die

een inwendige weerstand van slechts 700 Ω heeft. Ik werk weer met Z_{aa} = 4 kΩ en sluit nu een hoornluidspreker met een rendement van 105 dB/W,m aan. Figuur 14 laat de opmerkelijke resultaten zien.

Onder deze condities is er nagenoeg geen extra verzwakking aanwezig. Dit voorbeeld laat overduidelijk zien waarom high-end audiofielen zo vaak deze combinatie gebruiken. Ze claimen hoge resolutie en een holografisch geluidsbeeld en heel veel weergave van microdetails. Deze claims worden volledig door dit onderzoek ondersteund.

De invloed van een spleet in de OPT-kern

De invloed van de variaties in de relatieve permeabiliteit van een kern kan sterk worden verkleind door in de kern een spleet lg aan te brengen; zie formule 1-4. De invloed van de spleet is namelijk groter dan lc/μr, en daarom speelt variatie in μr een verwaarloosbare rol en wordt Lp nagenoeg constant en onafhankelijk van het uitgangsvermogen van de versterker. Deze techniek wordt in single ended versterkers toegepast, want daarin voorkomt de spleet dat de trafokern door DC-magnetisatie van de ruststroom verzadigd raakt. In het nu volgende voorbeeld stel ik lg = 1 mm, ik pas weer een hoornluidspreker toe en een 300B eindbuis. Zie figuur 15 voor de resultaten.

In dit voorbeeld is duidelijk zichtbaar dat Lp nagenoeg constant blijft en er ontstaat nu een constant eerste orde HPF met de -3dB frequentie vlak bij 20 Hz. Deze frequentie blijft constant, hoe hard of zacht de versterker ook speelt. Juist omdat alles nu constant blijft zal de hoorbaarheid van de geringe dieplaag verzwakking minimaal zijn. Dit is bij uitstek de situatie waar pure muziekliefhebbers zo dol op zijn en dit onderzoek ondersteunt hun voorkeur volledig. (Overigens laat dit voorbeeld ook zien waarom SE-versterkers moeite met dieplaag hebben, maar dat was niet de focus van dit onderzoek).

De invloed van het ijzer van de kern

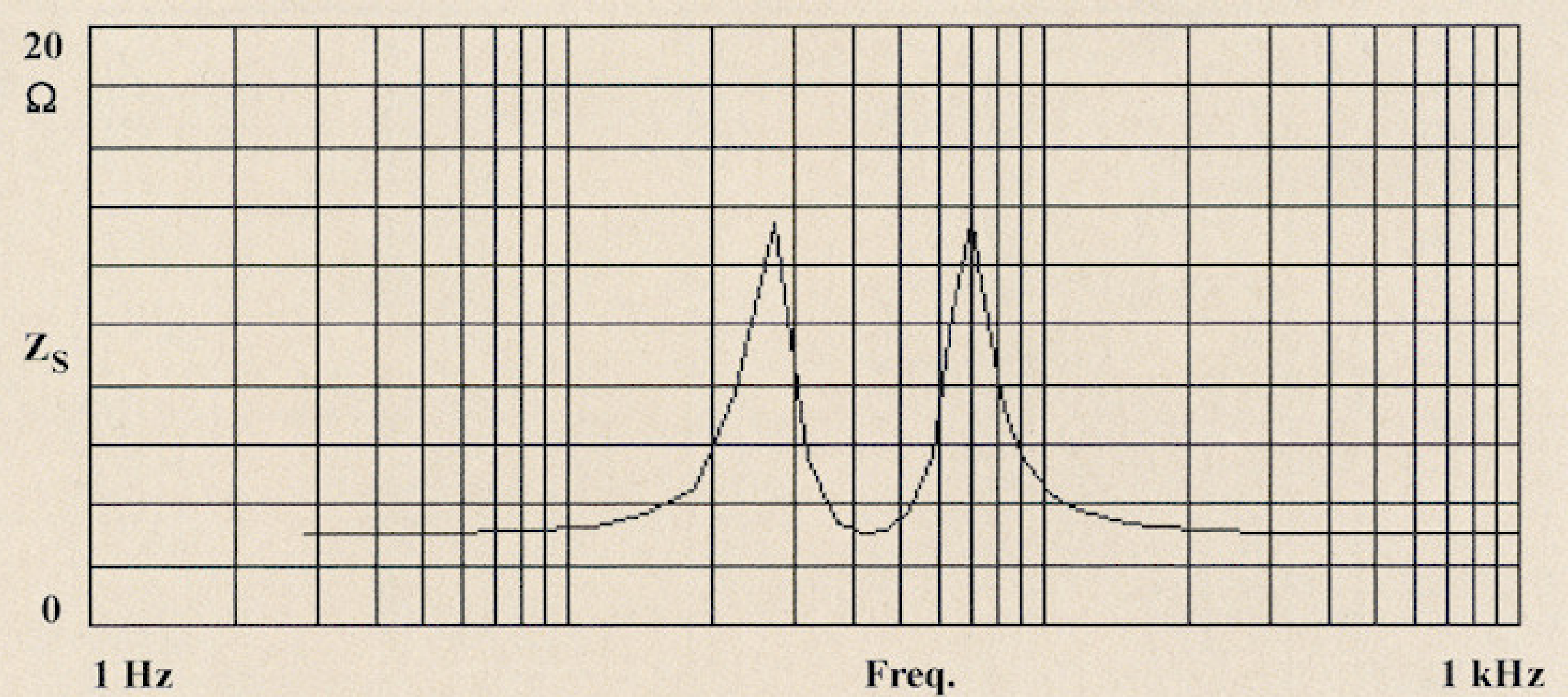
Hoe groter de relatieve magnetische permeabiliteit is, des te geringer die permeabiliteit bij de ondergrens extra verzwakking zal veroorzaken. Daarom vervang ik in het volgende voorbeeld de GOSS-kern (zie figuren 5 en 8) door een VM111-kern. De resultaten staan hieronder.

De resultaten zijn volledig zoals te verwachten valt. Meer permeabiliteit geeft minder verzwakking bij ondergrensweergave tussen 20 Hz en 1 kHz. Daarom beschouwt men VM111 ook als een goed voorbeeld van een "audiofiel" staal, vele malen beter dan GOSS dat voldoet voor voedingstrafo's.

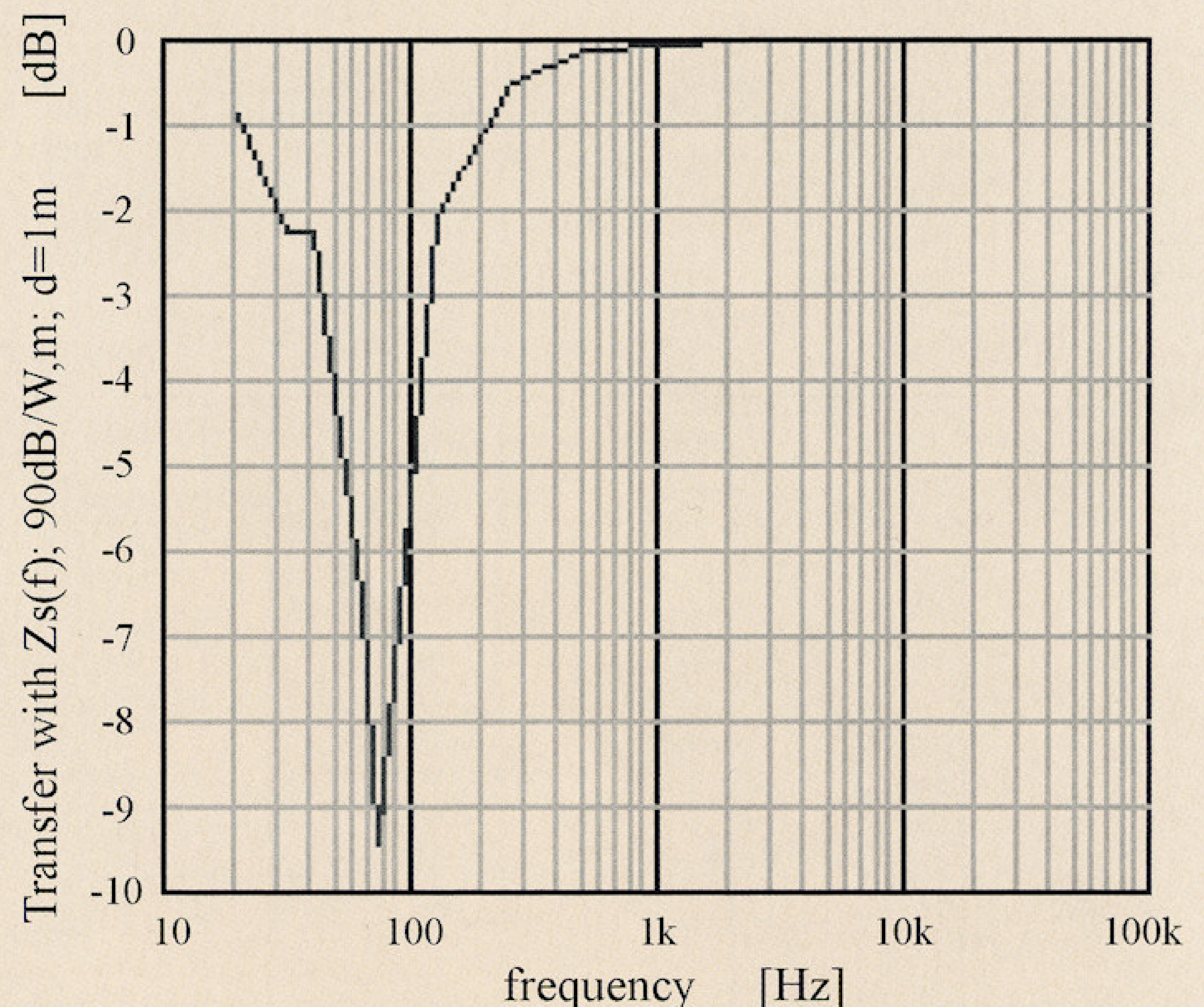
Discussie en conclusie

Ik zou nog meer elementen van de OPT en de eindbuizen en luidsprekers kunnen onderzoeken, maar geloof dat het nu wel duidelijk is hoe het een en ander samen hangt. Te lage permeabiliteit creëert extra verzwakking bij weergave op de gehoordrempel. Tussen 20 Hz en 1 kHz rondom de ondergrens van ons gehoor worden dan microdetails verzwakt. De mate van de verzwakking hangt af de eindbuizen, de OPT, het trafostaal, de impedantie van de luidspreker. De verzwakking brengt de microdetails onder de gehoordrempel en ze kunnen niet meer worden waargenomen. Als muzikale informatie op dat niveau gaat ontbreken, spreken audiofielen over de afwezigheid van microdetails in het geluidsbeeld; je kunt dan niet "diep" in het geluidsbeeld horen en de "emotie" ervan gaat verloren.

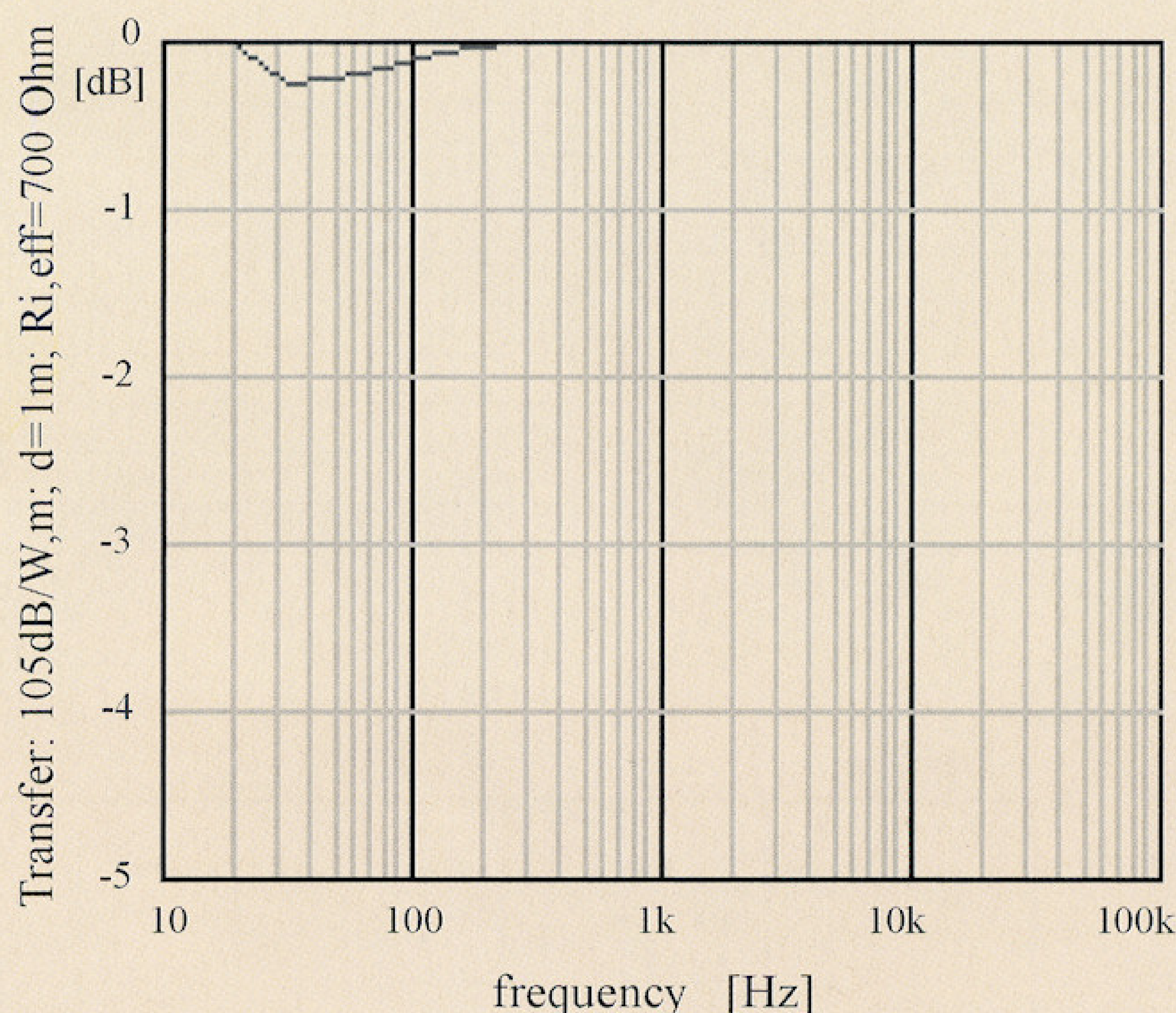
De volgende fase van mijn onderzoek zou kunnen gaan over: waarom zet je de versterker dan niet harder? Dat doen we vaak al onbewust als we meer details willen horen, maar het dan luide maximale volume veroorzaakt vast ruzie met de buren. Of ik zou kunnen gaan nadenken over tegenkoppeling, die het hier besproken verschijnsel kan corrigeren. Ik zou kunnen gaan discussiëren over lokale of totaal tegenkoppeling, waarbij ik op voorhand de voorkeur zou geven aan lokale tegenkoppeling omdat die Ri,eff verlaagt, wat gunstig is. Zie daartoe 12) want dit is precies waarom ik mijn Super Triode schakeling zo detailrijk vind klinken. Toch wil ik nu aan zulk soort benaderingen geen aandacht geven.

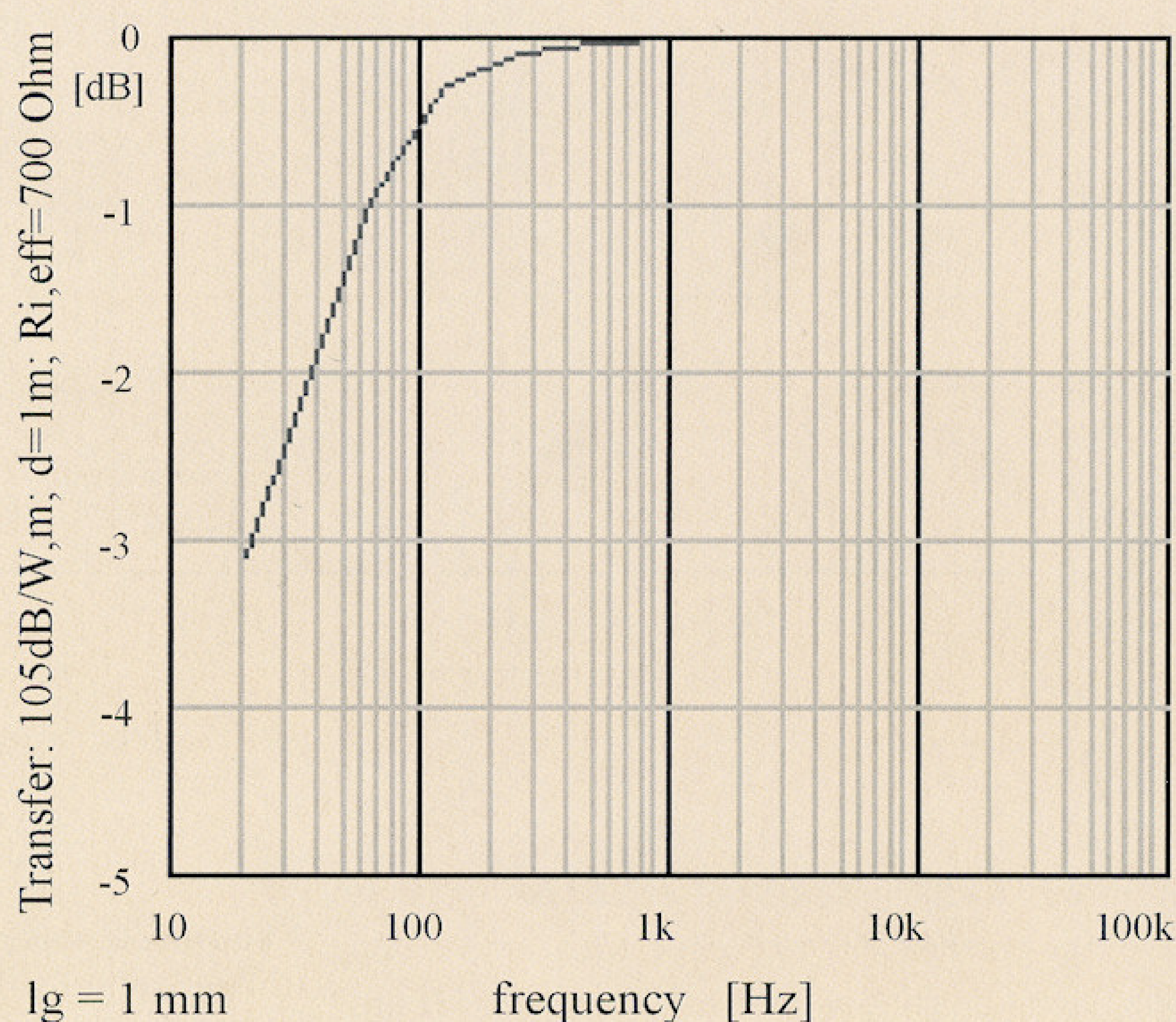


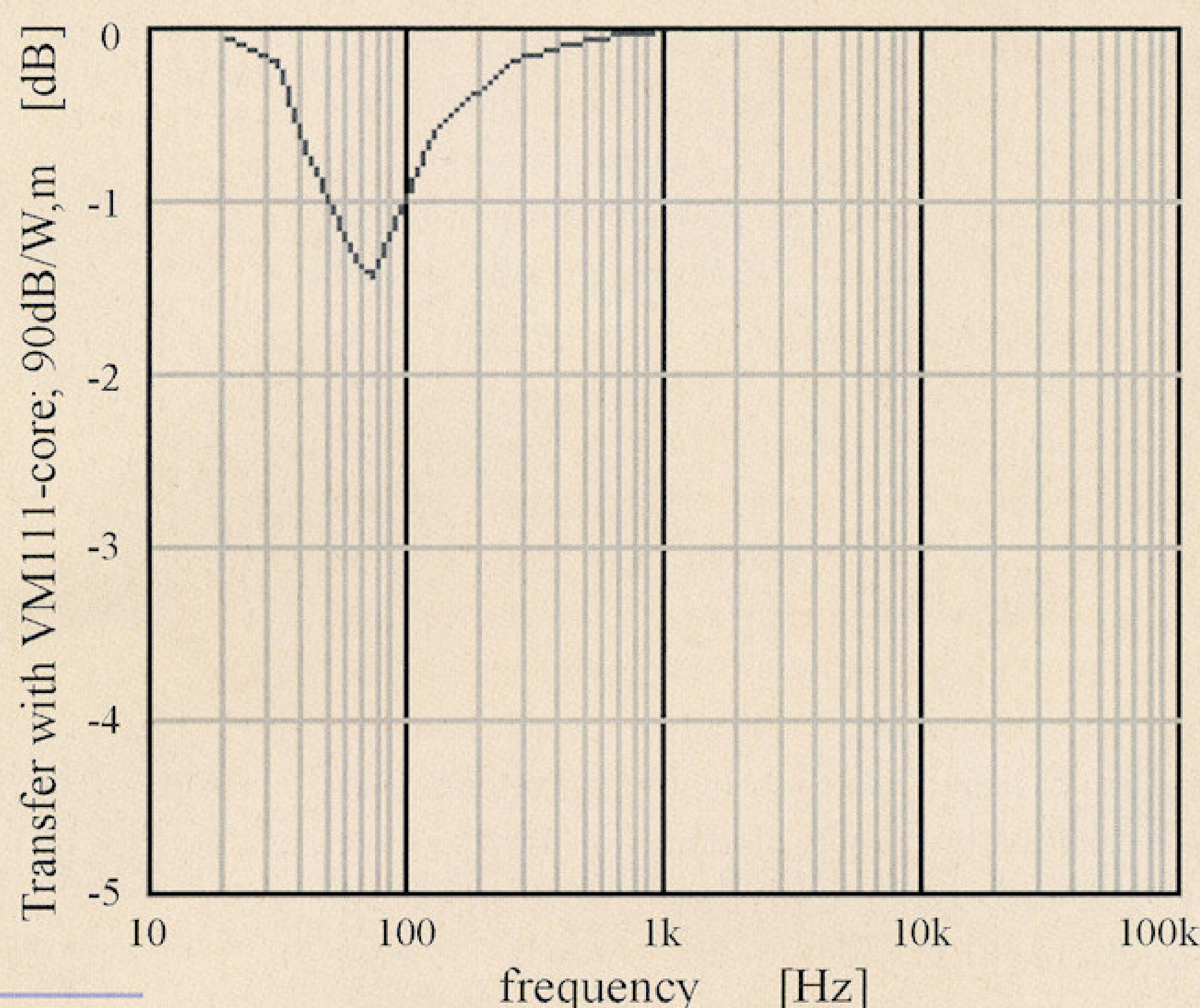
Figuur 12
Voorbeeld van de impedantie Zs(f) van een basreflex luidspreker (9)



Figuur 13
Verzwakking bij η = 90dB/W,m met Zs(f) van figuur 12.







Figuur 14
300B lage mu triode met 105dB/W,m hoorn op 1m.

Figuur 15
Verzwakking met 300B plus hoorn met 1 mm spleet in de OPT.

Figuur 16
Verzwakking met een VM111 kern, vergelijk met figuur 8.

GLOSARY

1: **Menno van der Veen**; "Theory and Practice of Wide Bandwidth Toroidal Output Transformers"; 97th AES-Convention 1994; San Francisco, preprint 3887

2: **Menno van der Veen**; "Modeling Power Tubes and their Interaction with Output Transformers"; 104th AES convention, Amsterdam, 1998; preprint 4643

3: **Pierre Touzelet & Menno van der Veen**; "Small signal analysis for generalized push-pull amplifier topology"; 112th AES convention, 2002 Munich, paper 5587

4: **Menno van der Veen & Pierre Touzelet**; "New Vacuum Tube and Output Transformer Models applied to the Quad II valve amplifier"; 114th AES convention, 2003 Amsterdam, paper 5748

5: **Menno van der Veen**; "Universal System and Output Transformer for Valve Amplifiers"; 118th AES convention, 2005 Barcelona; paper 6347.

6: **Jens Blauert**; "Spatial Hearing, The Psychophysics of Human Sound Localization"; translated by John S. Allen; MIT Press; ISBN 0-262-02190-0

7: **Tim de Paravicini**; private discussions at European Triode Festival ETF2006 in The Netherlands

8: **Joe Rasmussen**; Custom Analogue Audio; private discussions at ETF2006 and e-mail exchange following about advantages of high frequency bias of an OPT.

9: **Menno van der Veen**; "High-End Buizenversterkers 2"; chapter 5; Segment bv; ISBN 90-5381-204-0 (at this moment only available in Dutch language).

10: **Ronald Aarts**; private discussions, where he explained that the threshold of audibility is just above the sound pressure level created by the collision of air molecules.

11: **Morgan Jones**; private discussions at ETF2006 and e-mail exchange following.

12: **Menno van der Veen**; www.mennovanderveen.nl ; go to "the project" and "tube amps" with the description of the Vanderveen "SuperTriode" circuitry.

13: **Hans R.E. van Maanen & E.T. Zonneveld**; "An Extended Model for Impedance and Compensation of Electro-Dynamic Loudspeaker Units and an Algorithm for their Determination"; 96th AES conference, Amsterdam, paper 3823.

14: **Lukasz Jaszczuk**; "Studie van kleinsignaalweergave bij audiotransformatoren voor buizenversterkers"; referentie E08/ELO/08, KHLim-IWT, Agoralaan, geb. B, 3590 Diepenbeek België; voor een samenvatting van dit onderzoek zie: www.mennovanderveen.nl/nl/autobias-voordeel.html

Het liefst blijf ik nu bij de volgende wezenlijke vraag: "kunnen we wat hier besproken is wel horen"? Ik beschouw audiofielen als mensen met uitstekende oren die zich uitmuntend op details in het geluidsbeeld kunnen focussen, zelfs op het zwakke niveau van de gehoordrempel. Als dit waar is, dan wordt iedere extra verzwakking bij de gehoordrempel ook waargenomen, want de microdetails zijn verdwenen. Misschien zijn er audiofielen met supergevoelige oren, die nog onder de gehoordrempel kunnen horen. Zij komen dan echter in de problemen omdat ze dan ook kunnen horen dat de luchtmoleculen tegen elkaar botsen. Dit lijkt me niet zo prettig, zie (10). Volgens mij ligt het verschil tussen audiofielen en gewone luisteraars simpel in het feit dat de audiofielen zich goed op hoorbaar geluid kunnen focussen. Dan merken ze direct of er geluid verdwenen is. Morgan Jones (11) voegde hier de volgende verklaring aan toe die extra licht werpt op het fantastische horen van audiofielen: *"It's my opinion that an amplifier with flaws that change with amplitude or frequency is less tolerable than one with constant flaws. Perhaps this is because the ear/brain combination is able to adapt to a constant flaw but has to work harder to try to adapt and compensate for constantly changing flaws"*. Ik had het niet beter kunnen zeggen en ben het hier volledig mee eens.

Ik heb in mijn werkzame leventje naar heel veel buizenversterkers geluisterd, en er zelf ook veel ontwikkeld. Langzamerhand groeide in dat werk de volgende conclusie. *"Het klinkt alsof single ended versterkers microdetails luider en helderder weergeven. Daardoor ervaar ik de muziek als completer en gaat het holografisch klinken. Met balansversterkers kan dat ook wel, maar dan moeten de eindbuizen in triode staan"*. Het model dat ik in dit onderzoek bekeken heb ondersteunt deze subjectieve waarnemingen volledig en maakt ze objectief meetbaar.

Over dat meten heb ik inleidend al iets gezegd; nu kan ik een zinvolle nieuwe meetmethodiek voorstellen. Voortaan beschouw ik metingen bij 1 Watt of groter vermogen als leuk en noodzakelijk, maar hebben ze weinig directe relatie met holografisch luisteren, zoals bij single ended versterkers. Wat we moeten gaan meten is de constantheid van versterking (per frequentie) op heel laag signaalniveau. Eventueel moeten die metingen gecorrigeerd worden voor de ondergrens van ons horen en het rendement van een luidspreker. Maar laten we eerst maar eens beginnen met gewoon veelvuldig te meten op micro signaalniveau. Ik hoop in de nabije toekomst hierover meer te kunnen berichten.

"Dit artikel is in basisvorm in 2007 gepubliceerd als paper 7125, 122-ste AES-conventie te Wenen".



Dubbele buizentester
Comra BT0801

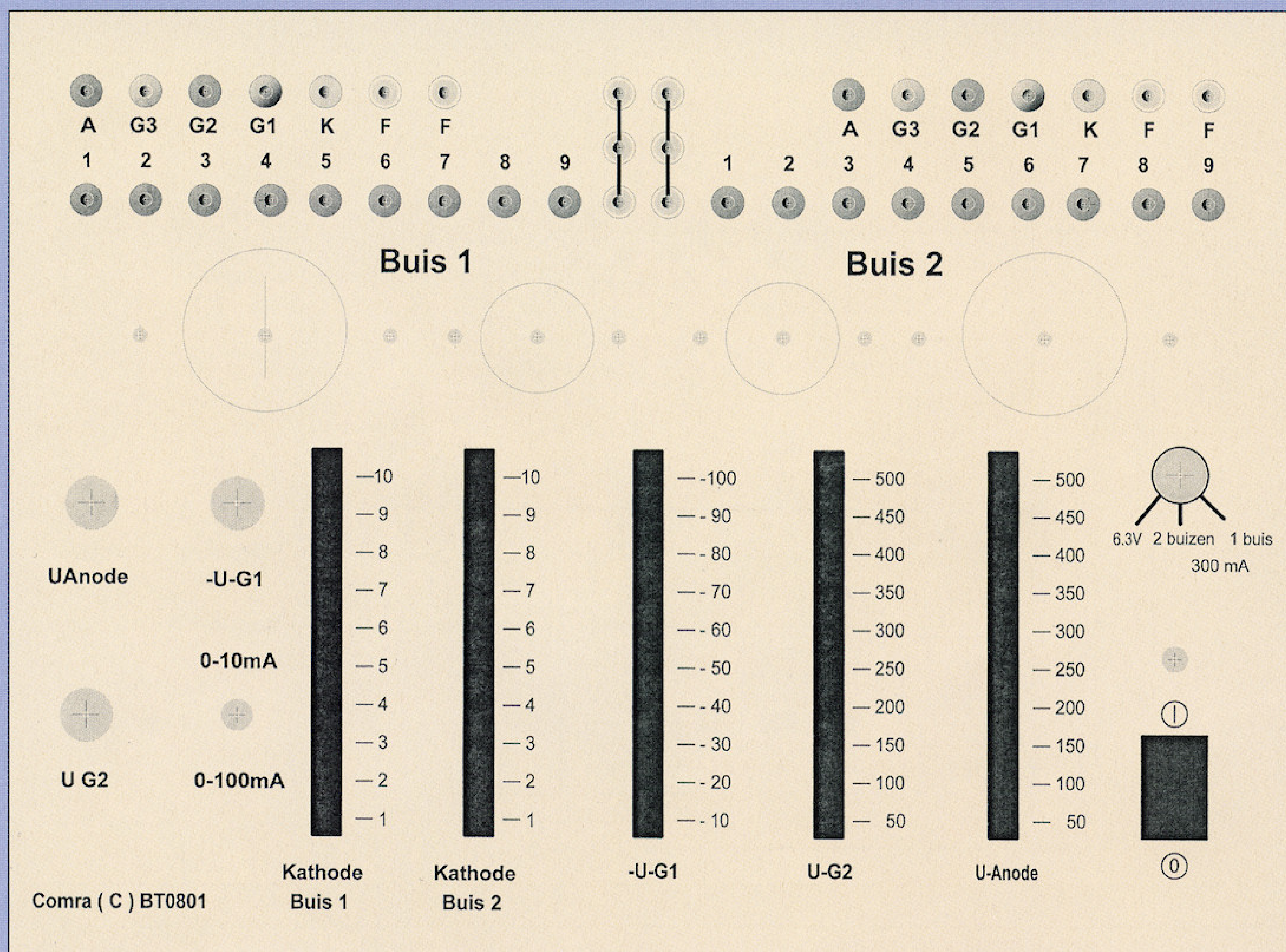
DOOR TON SLEEGERS

De buizentester van dit artikel blinkt niet alleen uit door eenvoud en gemakkelijke nabouw, maar ook door zijn vele meetmogelijkheden. De standaard buizenkenmerken zoals versterking en steilheid en inwendige weerstand kunnen gemeten worden. Nog belangrijker is dat men heel eenvoudig buizen onderling kan vergelijken en paren.

Aan de oorsprong van deze buizentester staat een fikse frustratie. Jaren geleden kocht ik voor veel geld een zendbuis op de rommelmarkt. De verkoper benadrukte dat de buis absoluut goed was, maar toen ik hem thuis testte bleek hij niet te werken. Ik ging terug naar de markt en kreeg daar te horen dat de buis echt goed was en ik hem kapot had gemaakt. Zoiets vervelends maak ik niet graag nog een keer mee, en daarom besloot ik een slimme buizentester te maken die op de accu van mijn auto zou kunnen werken, zodat ik ter plekke metingen aan een buis kon verrichten. Dit artikel beschrijft de buizentester die vervolgens ontstond. In eerste instantie overwoog ik om de tester volledig op een losse 12 Volts accu te laten werken, later zag ik daar van af omdat autoaccu's behoorlijk zwaar zijn. De voeding is nu op 230 V lichtnetspanning en als men in de auto wil meten zijn er tegenwoordig schakelende voedingen te koop die werken op de sigarettenaansteker van de auto, waarmee deze buizentester dan weer gevoed kan worden.

Buizentester in vogelvlucht

Met een buizentester wil je wat meten, dus heb je spanning en stroommeters nodig. Ik heb gekozen voor LED-meters die in een balkje aangeven hoeveel spanning en stroom je hebt. Een buis heeft altijd gloeispanning nodig, die ik aanlever als 6,3 of 2 maal 6,3 V in serie of als een constante stroom, want dat is voor sommige buistypen



Figuur 1
Indeling van het frontpaneel van de buizentester

ECC 81
ECC 82
ECC 83

EL34
6550

ECC 85
ECC 88

KT 66
KT 77
KT 88
6L6

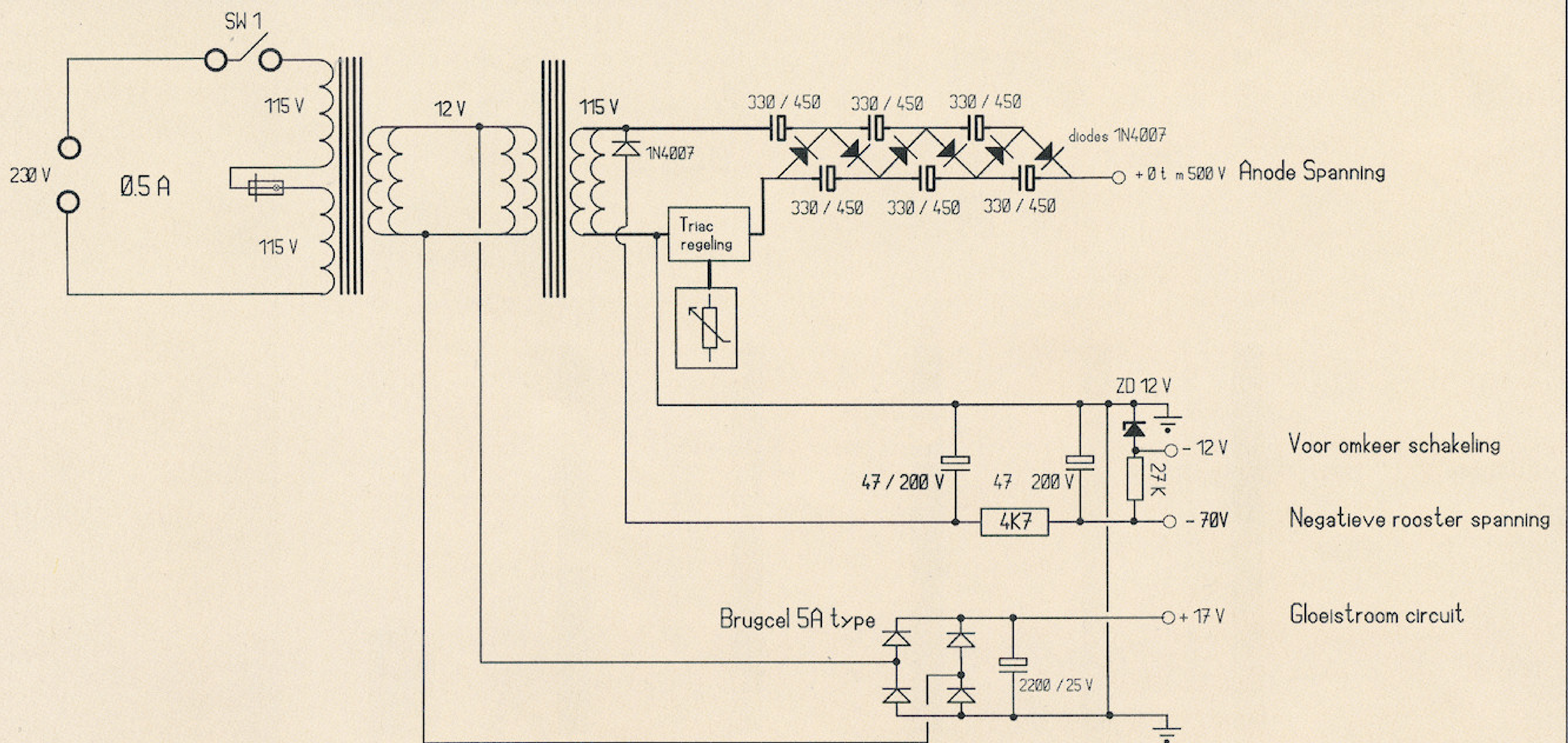
EF86

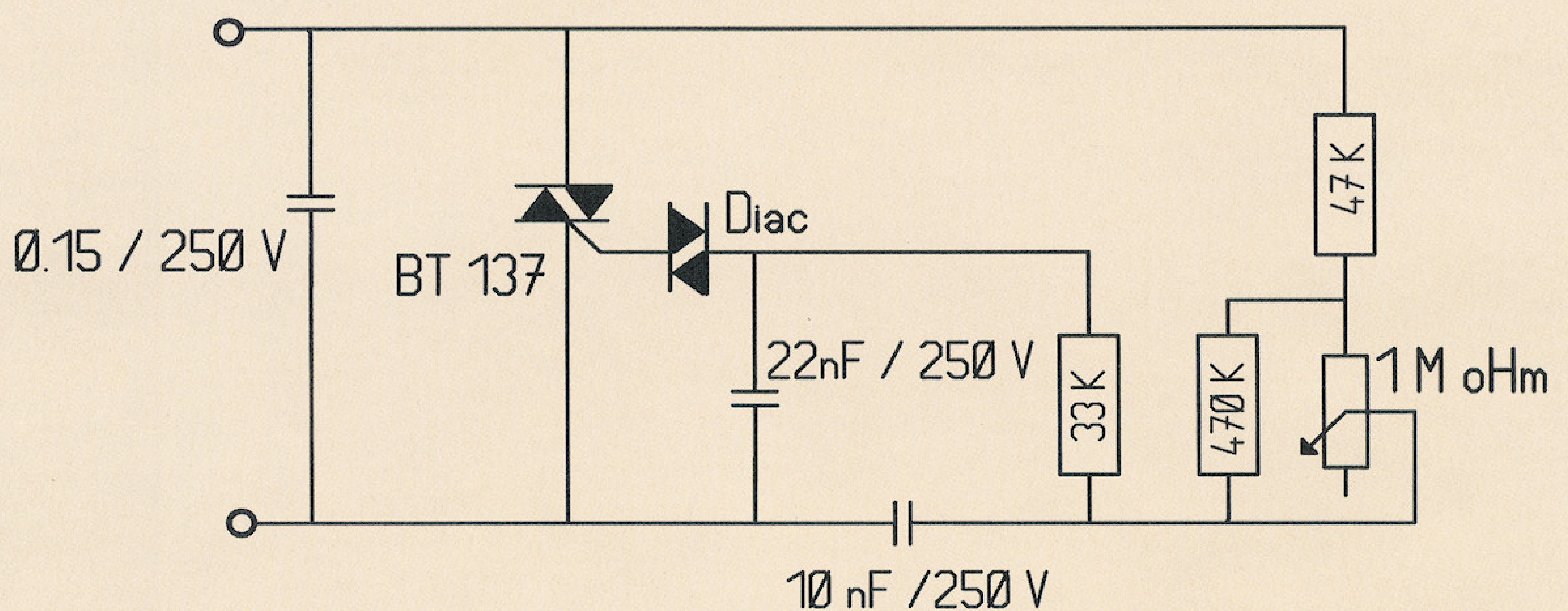
EL 36

TC

Comra (C)

Figuur 2
Overzicht van de pinaansluitingen van de meest bekende buizen





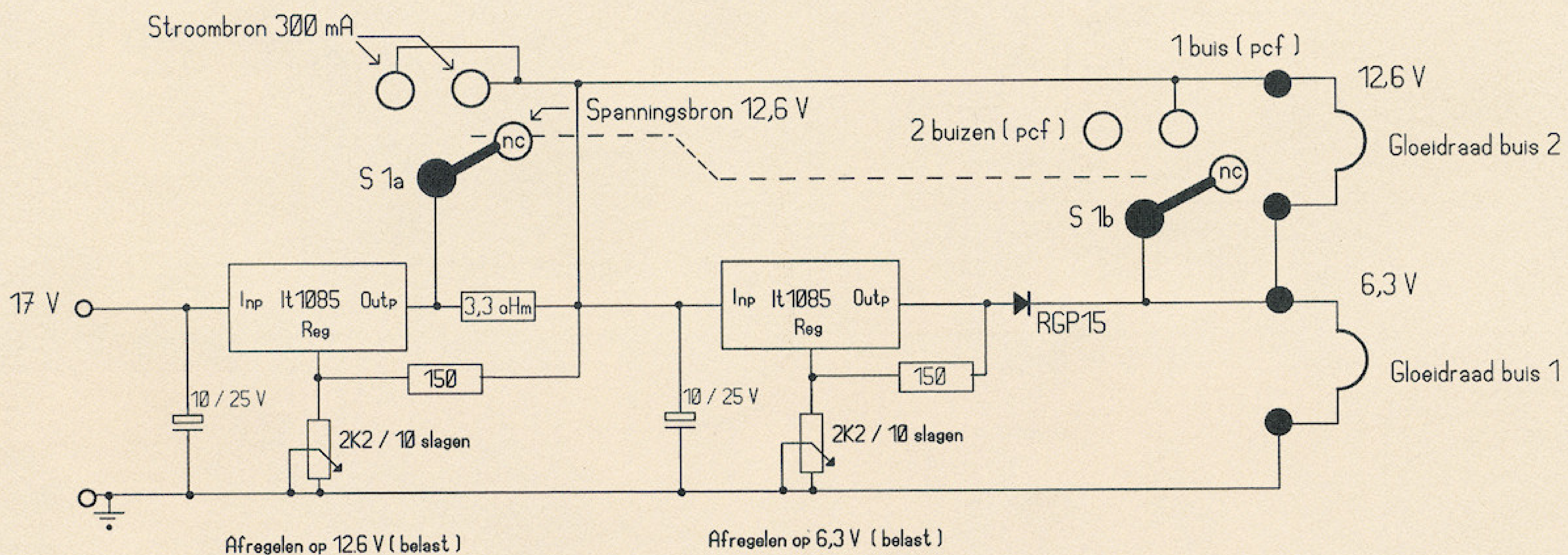
Figuur 3
De hoofdvoeding van de buizentester

Figuur 4
De Triac-regeling voor de hoogspanning U-Anode

veel beter. De anode moet op een instelbare hoogspanning komen te staan, dus bevat de tester een regelbare voeding van 0 tot 500 V hoogspanning. Precies dezelfde eis geldt voor de voeding van het schermrooster, dus daar is ook een afzonderlijke voeding voor ontwikkeld. Het stuurrooster wordt gevoed met een regelbare negatieve voeding, instelbaar tussen 0 en -70 V. De stroom die door de buis loopt wordt gemeten bij de kathode van de buis over een sensor-weerstand. Met deze opzet zijn alle spanningen regelbaar en te meten, evenals de stroom door de buis. Met die meetgegevens kunnen alle karakteristieke grootheden van de buis worden bepaald. De buizentester moet buizen met een octal (8-pins) en noval (9-pins) voet aan kunnen, dus die buisvoeten zijn standaard aanwezig. Heel belangrijk is de mogelijkheid om twee buizen tegelijkertijd te meten, zodar de paring van die buizen gemakkelijk kan worden bepaald. Alle buizen hebben verschillende pinaansluitingen. Om die correct te verbinden met de voedingen en meters van de buizentester, maak ik de noodzakelijke verbindingen met korte meetsnoertjes. Dat kan per pin eventueel ook met een roterende schakelaar, maar dat maakt het apparaat uiteindelijk erg complex. Meetsnoertjes inpluggen werkt snel en overzichtelijk en is ook nog eens betrouwbaar en goedkoop.

Frontpaneel van de tester

Eigenlijk is een buizentester de eenvoud zelf, dat blijkt direct uit de simpele opzet en indeling van het frontpaneel, zie figuur 1. Links en rechts boven zijn de busjes voor de aansluiting van de anode, schermrooster, keerrooster, stuurrooster, kathode en gloeidraden. Direct daaronder zijn de aansluitbusjes die met de pinnen van



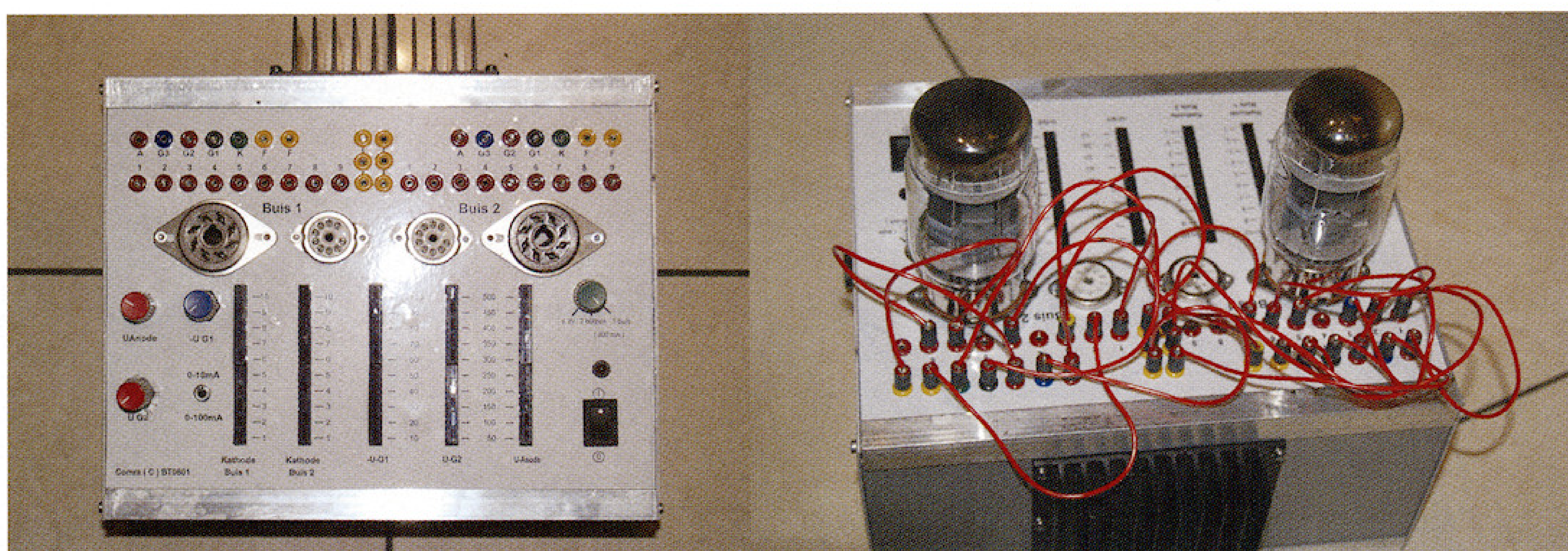
Figuur 5
De voedingsschakeling voor de gloeidraden plus 12V voor de LED-meters

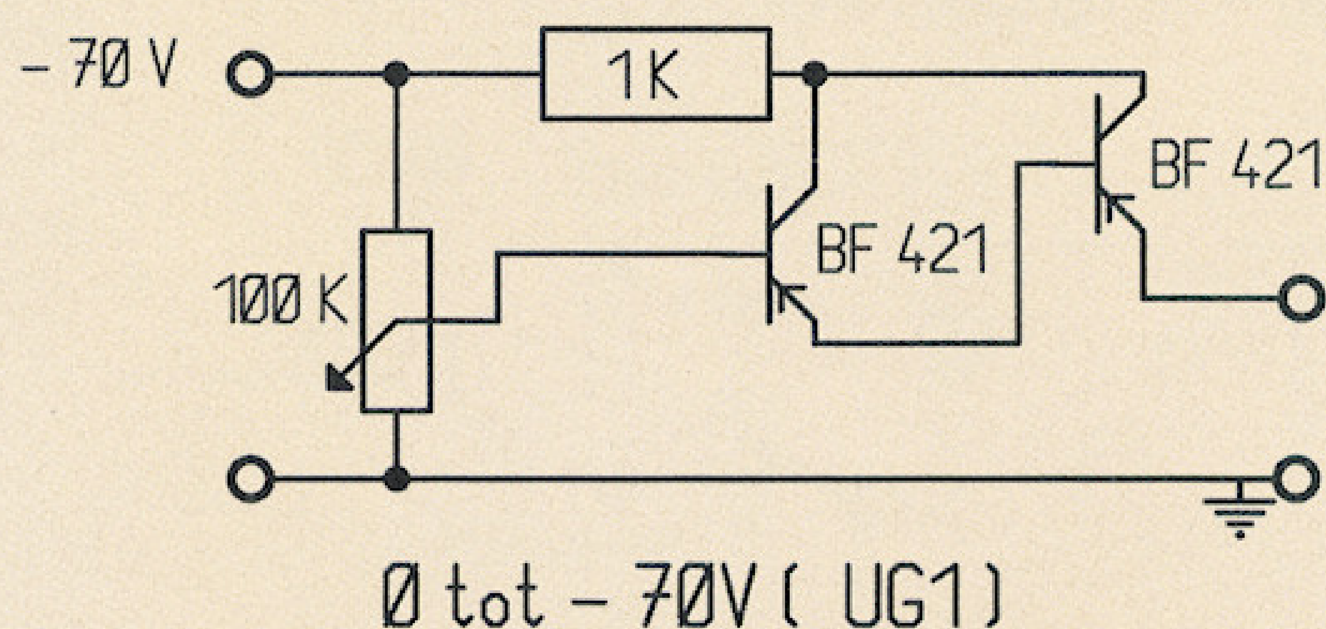
de buisvoeten zijn verbonden. Meetsnoertjes hiertussen koppelen de buizentester aan de desbetreffende buis. Bijvoorbeeld heeft de EL34 de gloeidraad tussen pin 2 en 7, dus die moeten met f-f verbonden worden. De anode zit daar op pin 3, dus tussen 3 en A moet een snoertje komen, enzovoort. Figuur 2 geeft een overzicht van de aansluitingen van de bekendste buizen, en met die gegevens is correct aansluiten en meten van een buis een fluitje van een cent.
Onder het verbindingsveld zitten twee keer een octal en een noval buisvoet, er zijn ook twee verbindingsvelden. Hiermee wordt duidelijk dat twee buizen tegelijk gemeten kunnen worden.
Dan nu helemaal links: een knopje om de anodespanning U-Anode in te stellen, en evenzo voor U-G2. Ook de negatieve stuurroosterspanning -U-G1 is in te stellen. Als laatste zit links een schakelaartje waarmee het bereik van de stroommeters in de kathodes ingesteld kan worden. Het 0-10 mA bereik is vooral bedoeld voor voorversterker buisjes (ECC en EF reeks), terwijl 0-100 mA voor eindbuizen bedoeld is.
Rechts aan de zijkant zit een driestanden schakelaar voor de gloeispanning; hetzij 6,3 V voor beide buizen, of als stroombron van 300 mA voor een enkele buis of twee buizen in serie.

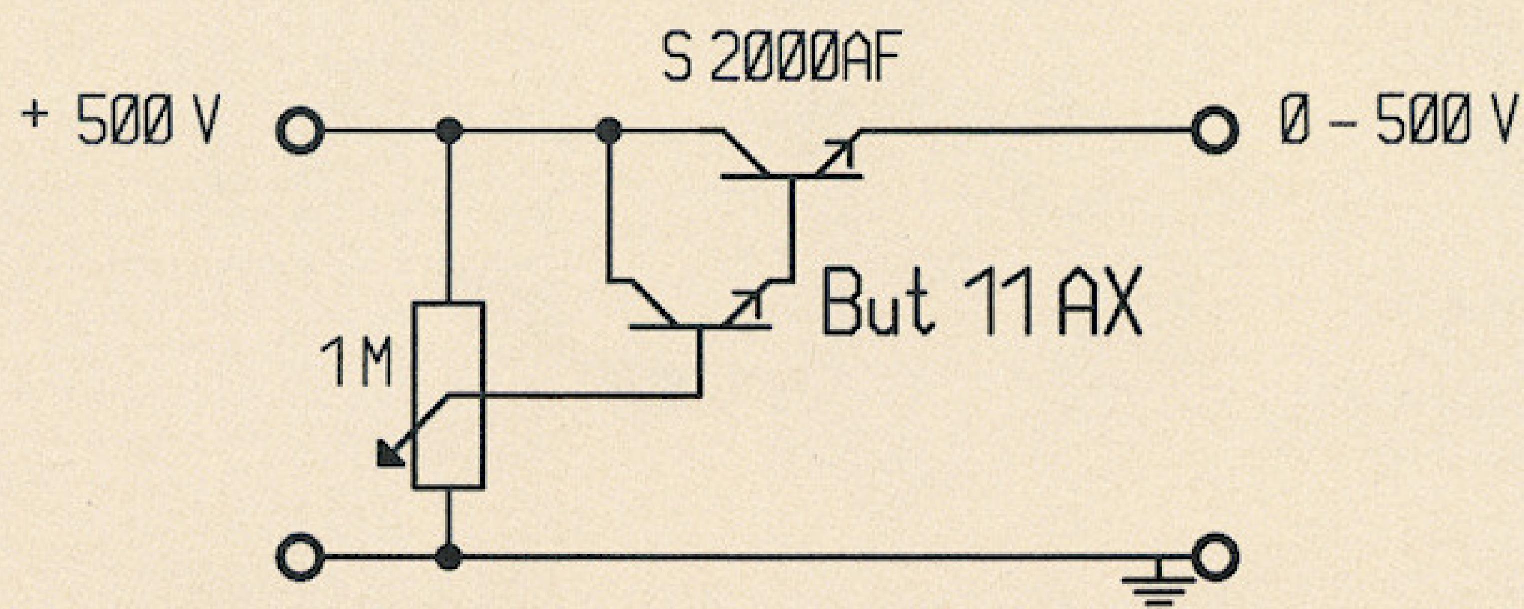
Het meterveld met de LED-meters is ook eenvoudig. Er wordt gebruik gemaakt van 10-voudige LED-bars, waarbij de linker twee meters de kathodestromen van één of twee buizen (paring) aanwijzen. De drie andere LED-bars tonen de ingestelde spanningen op de roosters en de anode.
Ten slotte nog een aan-uit schakelaar, maar dat spreekt voor zich.

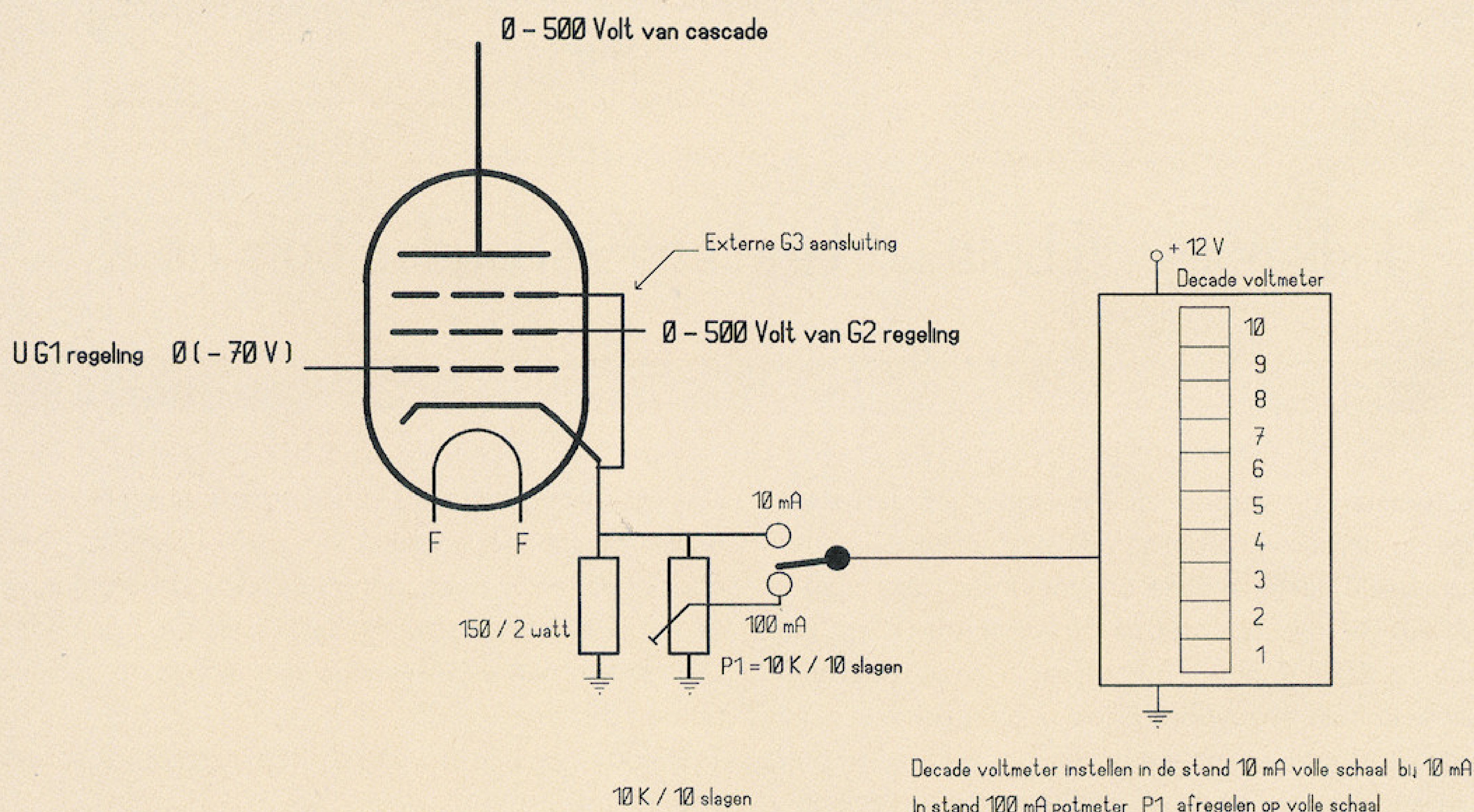
De hoofdvoeding

Het schema van de hoofdvoeding van deze buizentester staat in figuur 3. De lichtnetspanning wordt eerst via een ringkerntrafo (2 x 115 V primair, 2 x 12 V 3 A secundair) omlaag gebracht naar 12 V wisselspanning. Deze spanning (zie onderste deel van het schema) wordt vervolgens gelijkgericht en gebufferd met 2200 uF/25 V. Zo ontstaat er een effectieve gelijkspanning van 17 V die voor het gloeidraad circuit van de buizentester wordt gebruikt.
Na de eerste ringkerntrafo volgt een identieke tweede trafo die de 12V wisselspanning weer omhoog transformeert. Deze tweede trafo wordt dus "omgekeerd" gebruikt. De redelijk hoge spanning van 115 V die dan ontstaat wordt door een triacregeling gestuurd, zie









Figuur 6
Regelschakeling voor de negatieve spanning U-G1 voor het stuurrooster

Figuur 7
Regelschakeling voor de U-G2 voor het schermrooster

Figuur 8
Meetschakeling voor de kathodestroom

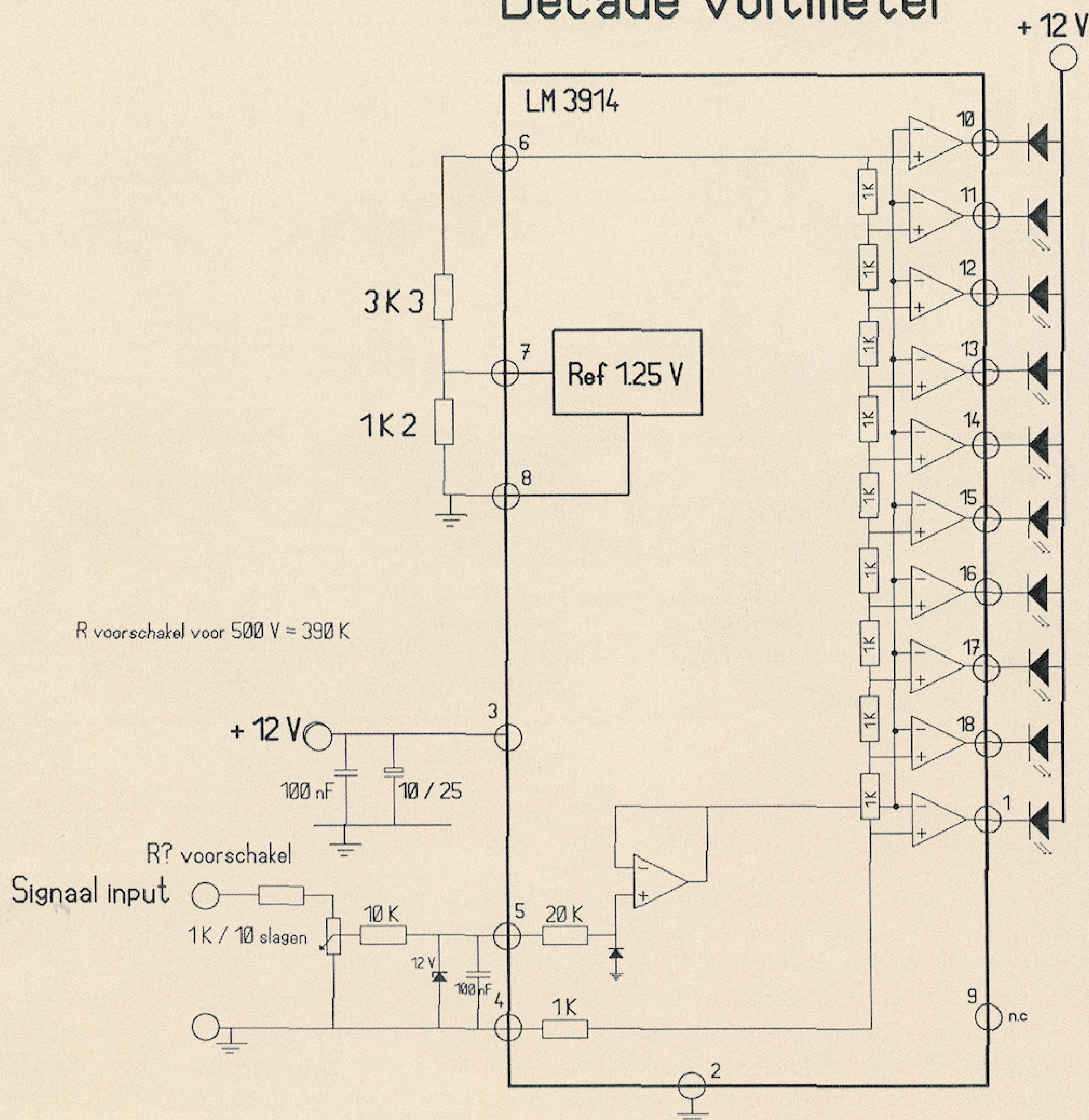
figuur 4. Hiermee kan zonder veel warmteverlies de hoogspanning regelbaar gemaakt worden.
Hierna volgt een laddernetwerk van diodes en condensatoren waarmee de spanning omhoog wordt gestapeld naar 500 V. Ook dit laddernetwerk voldoet uitstekend en omdat er elco's gebruikt worden met een grote capaciteit, is de rimpelspanning op de ingestelde U-Anode hoogspanning gering en valt er niets meer terug te vinden van de fase aansnijding van de triacregeling.
De spanning voor het stuurrooster moet negatief zijn en deze wordt gelijkgericht via een enkele diode van de 115 V wisselspanning en zo ontstaat er een stabiele negatieve spanning van -70 V. Hoe deze tussen 0 en -70 V instelbaar te maken wordt verderop besproken. Ook is er voor een meetversterkertje nog een negatieve hulpspanning van -12 V nodig, die simpel gemaakt is met een zenerdiode van 12 V aangestuurd via een 27 kOhm weerstand.

Gloeispanning en stroom

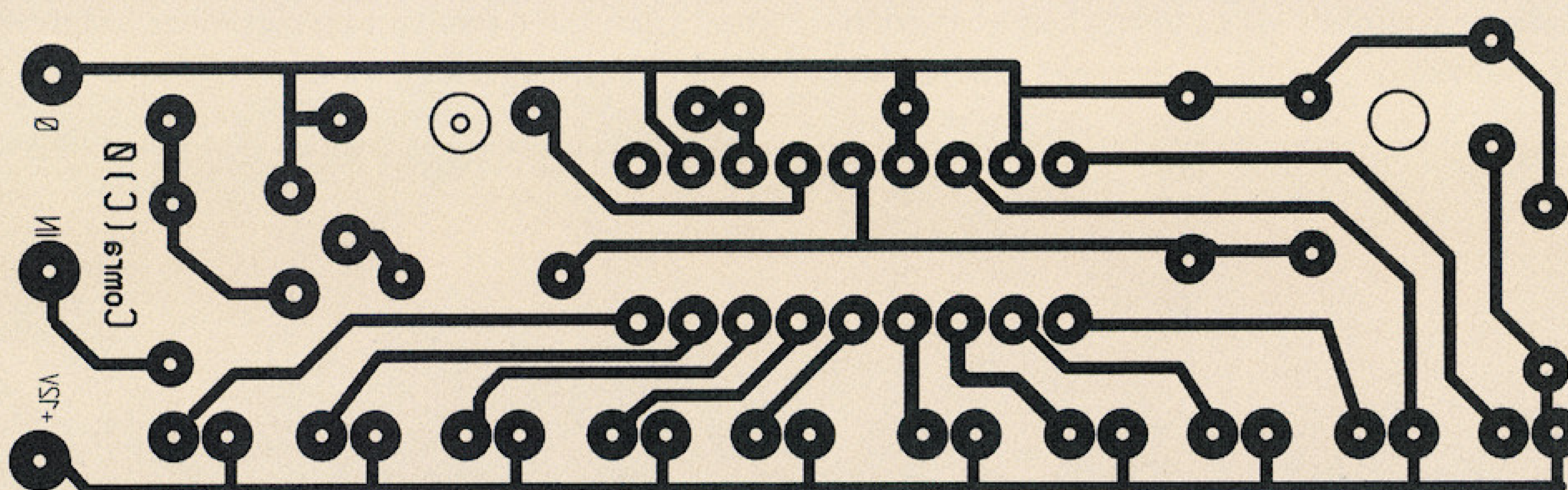
In figuur 5 staat aangegeven hoe de gloeispanningen worden gemaakt. Uitgaande van de gelijkgerichte 17 V spanning wordt door twee spanningsregelaars twee maal 6,3 V gemaakt. Deze spanningsregelaars worden heet, want de gloeistromen kunnen aanzienlijk groot zijn (meerdere ampères). Monteer daarom deze spanningsregelaars op een voldoende grote koelplaat. In de uitgang van de eerste spanningsregelaar is ook een weerstand van 3,3 Ohm opgenomen om van de spanningsregelaar een stroombron (300 mA) te maken, waarbij die stroom door 1 of 2 gloeidraden in serie gestuurd kan worden. Dit is eenvoudig instelbaar met de schakelaar S1. Met de instelpots van 2k2 kan de gloeispanning precies worden afgesteld; doe dit wel in belaste toestand.
Onderaan in figuur 5 staat nog het circuitje dat + 12 V gestabiliseerde spanning maakt, voor de LED-bar meters, de eenvoud van dit schakelingetje spreekt voor zichzelf.

U-G1 en U-G2 regelaars

Elektronica hoeft niet moeilijk te zijn, zoals volgt uit de figuren 6 en 7, waar de regeling van de spanning voor het stuurrooster (G1) en het schermrooster (G2) worden aangeduid. De essentie ervan is dat door de twee transistoren in Darlington schakeling de basisstroom van de transistor, aangesloten op de regelpotentiometer, verwaarloosbaar klein is. Daardoor regelen de potentiometers goed lineair en treedt daarover een verwaarloosbaar verlies op. Ze kunnen dan ook hoogohmig gekozen worden waardoor hun eigen warmteverliezen minimaal zijn. Opmerkelijk is dat U-G2 afgeleid wordt



Figuur 9
LED-bar meterschakeling met de LM3914



Figuur 10
Print lay-out van de LED-bar meterschakeling

van de al instelbare hoogspanning U-Anode. Dat mag, omdat in alle applicaties de spanning op G2 lager moet zijn dan op de anode. Aan die voorwaarde wordt door deze schakelwijze automatisch voldaan.

Aansluiting buis op voedingen en meters

In figuur 8 staat aangegeven hoe aan de buis gemeten wordt. De spanningen worden aangesloten en ingesteld op hun gewenste waarde (zie buizenboeken of andere databoeken). De buisstroom stroomt door de kathodeweerstand die instelbaar is. Deze bedraagt 150 Ohm met een extra verzwakkende instelpotentiometer voor eindbuizen (100 mA bereik) en 150 Ohm voor voorversterkerbuisjes (10 mA bereik). Met een schakelaar kan het gewenste bereik worden gekozen. Over deze "sensor"-weerstanden ontstaat dan een gelijkspanning die eerst nog door een instelpot (fijnafstelling) wordt gevoerd en vervolgens naar de LED-metersectie gaat. Men zou kunnen beargumenteren dat er maximaal 15 V over deze kathodeweerstand komt te staan in het maximale bereik. Dan is de anodespanning niet meer de ingestelde 500 V, maar 15 V minder. Deze afwijking is

Figuur 11
Onderdelen plaatsing van de LED-bar meterschakeling

Figuur 12
Als figuur-11, maar nu met de printsporen in doorzicht

echter verwaarloosbaar (2 %). Ernstiger is de situatie bij de spanning tussen het stuurrooster en de kathode. Want die bedraagt dan bijvoorbeeld niet -70 V, maar -85 V. Daarvoor zou gecompenseerd kunnen worden, maar ik heb dat niet gedaan, omdat je de kathode-(spanning) direct afleest bij de kathodestroommeters en deze kunt optellen bij de ingestelde negatieve stuurroosterspanning. Ik check zelf de buizen met deze tester op goede werking, en op paring, en dan speelt deze kleine afwijking, die je nogmaals via optelling zelf kunt corrigeren, geen enkele rol. Dan is de eenvoud van de schakeling toch belangrijker dan deze kleine gemakkelijk corrigeerbare fout.

Er is nog een ander alternatief: geef de sensor-weerstanden een 10 maal kleinere waarde. Dan is de maximale spanning erover gelijk aan 1,5 V. Voer die spanning direct naar de meetversterker, zonder tussenkomst van enige verzwakking of afregeling of fijninstelling. Op deze manier is de meetfout tot slechts 1,5 V teruggebracht, maar men kan de meters nu niet meer kalibreren (wat ik een belangrijk nadeel vind).

De Metersecties

Alle LED-meters zijn exact gelijk, door middel van de keuze van hun voorschakelweerstand kan het benodigde meetbereik worden ingesteld. Als basis is steeds de bekende LM3914 gebruikt die 10 LED's kan aansturen; zie figuur 9. De twee weerstanden van 1k2 en 3k3 bepalen de LED-helderheid en de referentiespanning ten opzichte waarvan de ingebouwde comperators vergelijken. De gehele schakeling heeft slechts een enkele voedingsspanning van 12 V nodig, en die is al eerder besproken. Aan de signaalingang zit de al eerder genoemde voorschakelweerstand en een instelpot van 1 kOhm om de meterunit nauwkeurig af te regelen. De schakeling is zo gedimensioneerd dat op pootje 5 een meetspanning van +1 V moet staan voor het volledige bereik met alle LED's in aan-toetsand. Wil men volle schaal 500 V meten, dan is 390 kOhm een goede keuze voor de voorschakelweerstand. Bij de meting van de negatieve U-G1 is een extra trapje nodig dat ik verderop bespreek. Voor de meting van de kathodestroom (maximaal 10 V over R-sensor in de kathodeleiding) is 6k8 of 8k2 een geschikte keuze voor de voorschakelweerstand.

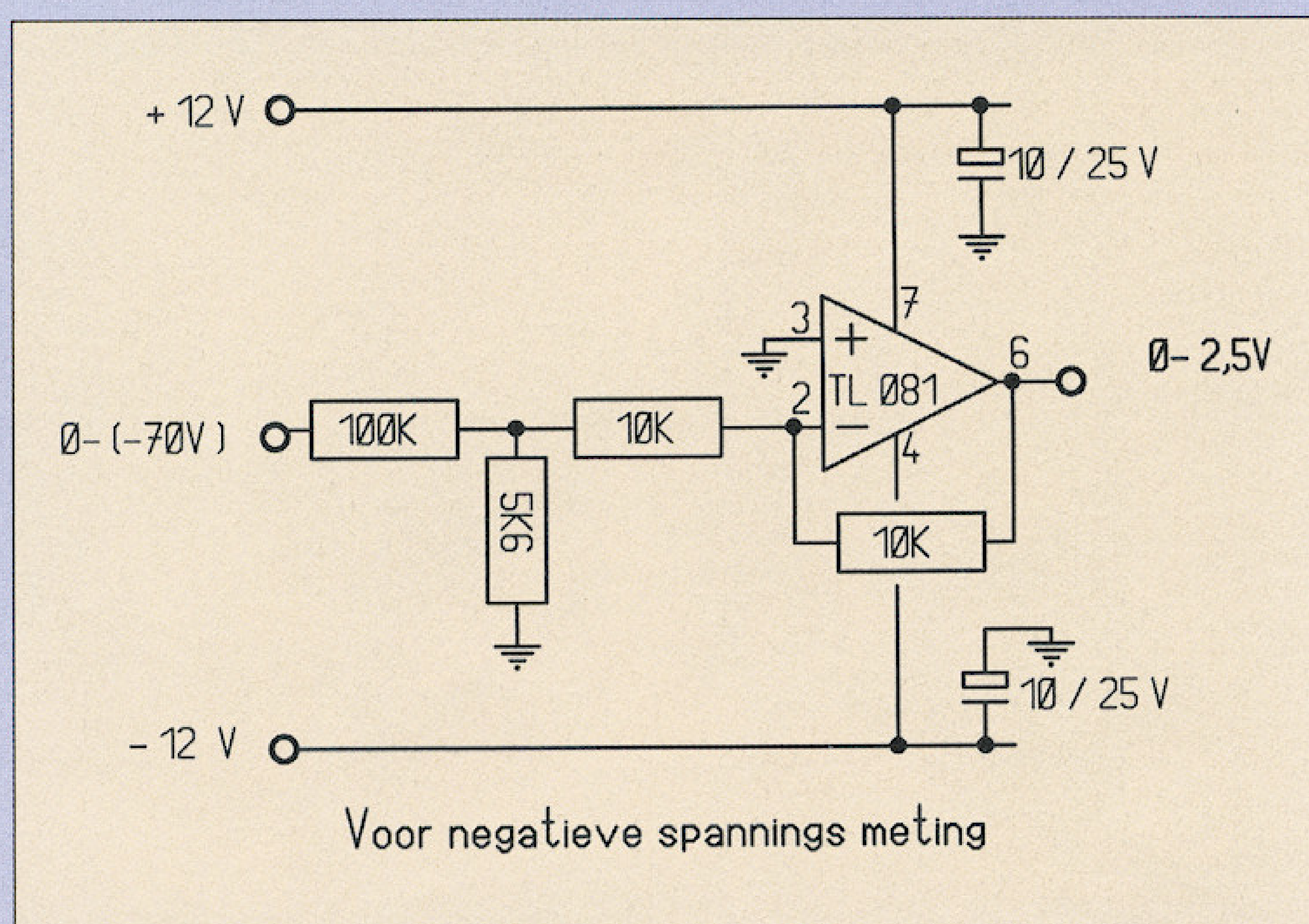
Voor de LED-meters heb ik een printje ontwikkeld, de afbeelding daarvan en de onderdelen bezetting is te vinden in de figuren 10, 11, 12. Een en ander wijst zichzelf. De LM3914 accepteert geen negatieve meetspanningen, terwijl de negatieve spanning voor het stuurrooster wel gemeten moet worden. Daarom is een klein meetversterkertje nodig vanaf U-G1 naar de bijbehorende LED-meter. De schakeling daarvan staat in figuur 13. Door middel van een eenvoudige inversie met een TL081 plus toevoeging van een voorverzwakking (100k + 5k6) is de negatieve U-G1 in een positieve meetspanning omgezet die rechtstreeks naar de bijbehorende LED-schakeling kan worden gevoerd.

Over de bouw

Met hoekprofielen en plaatjes aluminium heb ik zelf een kast gemaakt. Onderin liggen de twee ringkerntrafo's. Daarboven zit een HaPa plaat met daarom het laddernetwerk voor de hoogspanning en het meetversterkertje voor U-G1. De schakeling voor de gloeidraden is rechtstreeks op de koelplaat aan de achterkant van de kast geplaatst. De rest van de onderdelen zijn onder de uitgefreesde bovenplaat gemonteerd. De bedrading is nogal intensief en vraagt om een grote zorgvuldigheid, hoe eenduidig alles er ook uit mag zien, je maakt gemakkelijk een foutje. Voor een meetapparaat als dit is het niet zinvol om een totaal printplaat te ontwikkelen. Ieder zal zijn eigen kast hebben, of net weer afwijkende trafo's of een andere frontindeling wensen. Ik laat dit aan de zelfbouwers over en hoop dat de foto's een goed inzicht geven in hoe ik het een en ander heb opgelost.

Meten van buisgrootheden

Met deze buizentester kunnen de karakteristieke grootheden van een buis bepaald worden, te weten de m (versterking), de steilheid S en de inwendige weerstand Ri. Dit gaat als volgt:



Figuur 13
Meetversterker voor de negatieve U-G1 spanning

De versterking m is gedefinieerd als de verandering van de anodespanning gedeeld door de verandering van de stuurroosterspanning, terwijl de stroom constant blijft. Met een voorbeeld wordt duidelijk hoe die meting moet. Stel U-Anode in op 300V, de stroom is dan bijvoorbeeld 40 mA, terwijl U-G1 gelijk is aan -40 V. Wijzig nu U-Anode naar 350 V, regel met U-G1 af dat de stroom 40 mA blijft en lees U-G1 af. Deze is nu bijvoorbeeld -45 V. De waarde van m is dan (350-300)/(45-40) = 10 maal De inwendige weerstand van de buis moet bepaald worden terwijl U-G1 constant blijft. De inwendige weerstand is dan gelijk aan de verandering van de anodespanning, gedeeld door de verandering van de anodestroom. Opnieuw geef ik een voorbeeld: Stel U-Anode in op 300V, U-G1 op -40 V en I is dan 40 mA. Wijzig nu U-Anode naar 350 V, wijzig U-G1 niet en lees de nieuwe waarde van de stroom af. Deze wordt bijvoorbeeld 50 mA. De inwendige weerstand is dan gelijk aan (350-300)/(50-40) = 5 V/mA = 5000 V/A = 5 kOhm.

De steilheid kun je rechtstreeks meten, want die bepaal je bij constante anodespanning. Stel bijvoorbeeld U-Anode is 300 V en I = 40 mA terwijl U-G1 is - 40 V. Verander nu U-G1 naar bijvoorbeeld -50 V en lees de stroom af. Deze wordt bijvoorbeeld 20 mA. Dan is de steilheid gelijk aan (40-20)/(50-40) = 2 mA/V.

Je kunt de steilheid ook uitrekenen met de relatie van Barkhausen; die luidt: m = S×Ri. Uit de eerste twee metingen weten we: m = 10 en Ri = 5000 W. Dan geldt S = 10/5000 = 0,002 A/V = 2 mA/V.

De meeste buizenboeken verstrekken niet alleen de waardes van de karakteristieke grootheden, maar geven ook aan bij welke instellingen die gelden. Als je zelf de karakteristieke grootheden gaat bepalen, kies dan de anode en roosterspanningen zoals het buizenboek deze voorschrijft. Doe je dat niet, dan zul je zeker andere waarden vinden voor m, S en Ri, want hun grootte verandert echt als bij een ander instelpunt gemeten wordt.

Ik wens ieder heel veel meetplezier met deze buizentester. Vooral de gedachte maakt me vrolijk dat er geen exotische dure componenten nodig zijn. Ik heb slechts 150 Euro uitgegeven om dit zinvolle apparaat te maken.



Classic Two 200B Single Ended stereo eindversterker

DOOR DICK VAN DE MERWE

Een push-pull versterker is tegenwoordig zeer prijzig en met zo'n versterker is het goed leven, uitstekend zelfs. Maar een goed bedachte single ended versterker, met een 300B eindpit, 'heeft iets' dat bij vele andere versterkers niet te vinden is. En aan die onhaalbare aanschafprijs is wel wat te doen door zelf de handen uit de mouwen te steken. Triodedick laat in dit artikel zien dat door zelfbouw zo'n geweldige versterker voor iedereen toegankelijk is.

De 300B triode

Er zullen weinig buizen zijn die meer tot de verbeelding spreken dan de WE300B. Deze direct verhitte eindtriode dient als voorbeeld en referentie voor vele navolgers. Western Electric komt al in 1933 met de 300A op de markt, die slechts verschilt van de wat latere 300B door een bajonetpin op een andere plaats op de buisvoet. De buis wordt onder andere gebruikt in versterkers voor bioscopen en theaters. Stel je eens voor: een vette 8 watt versterker in een PA systeem? Ja, lach maar, bedenk echter dat de grote hoornluidsprekersystemen uit die tijd 15 tot 20 dB gevoeliger waren dan de hedendaagse compactere speakers. Met een luidspreker die met 1 watt aan de ingang 105 dB op 1 meter afstand kan produceren speel je gemakkelijk een zaaltje vol muziek. En van die hoge gehoor belastende geluidsniveaus zoals vandaag op discotheek- en concertbezoekers wordt losgelaten was destijds nog geen sprake. WE zelf gebruikt de 300B in de legendarische WE model 91 en 86 versterkers. De WE91 is een single ended versterker waarbij de eindtriode wordt aangestuurd met een WE310 penthode. De bandbreedte is niet echt meer van deze tijd maar desondanks inspireert deze versterkerschakeling ook vandaag nog steeds actieve zelfbouwers. En ik had niet zo lang geleden zelfs een hedendaagse fabrieksversterker in huis die regelrecht op het klassieke WE91 concept is gebaseerd.

In 1988 sluit Western Electric, voor het laatst de fabrieksdeuren, waarmee een eind komt aan de productie van de WE300B triode. Een klein groepje gebruikers en fabrikanten blijft echter in deze vermogenstriode geloven en geeft zich niet gewonnen aan de solid state overheersing. In China worden er dan nog steeds 300B buizen klonen geproduceerd. En zolang er buizen gemaakt worden kun je ook een versterker bouwen. De kwaliteit van Western Electric wordt door de Chinese versie zeker niet geëvenaard, maar als de Chinezen de 300B niet waren blijven produceren, had ik dit verhaal waarschijnlijk niet eens geschreven.

Back to the future...

De toenemende vraag naar de 300B, de enorme bedragen die voor een echte WE300B buis in de jaren na de productiestop worden gevraagd en betaald én het succes van fabrikanten met 300B imitaties zal voor rinke-

lende belletjes bij de oorspronkelijke makers hebben gezorgd. Het ondenkbare gebeurd: in de tweede helft van de jaren 90 worden de in opslag gezette productiemachines bij WE weer uit het vet gehaald. Het heeft echter nogal wat voeten in aarde om de kwaliteit van de weer nieuw geproduceerde buizen op het oude niveau te krijgen. Niet alleen de machines moeten weer geolied draaien, ook de interne gebruikte materialen voor de anode (zuiver nikkel) en direct verhitte kathode/gloeidraad (naar het zeggen volgens geheim recept van WE) moeten weer van de oude bewezen kwaliteit zijn. Gekwalificeerd personeel is ook een must. Pas in 1998 zien we de eerste WE300B sinds 10 jaar weer in de verkoop. Maar het was het wachten waard, de nieuwe 300B blijkt een behoorlijk kostbare maar prachtige buis te zijn, een waardige voortzetting van het origineel.

Hier, vandaag...

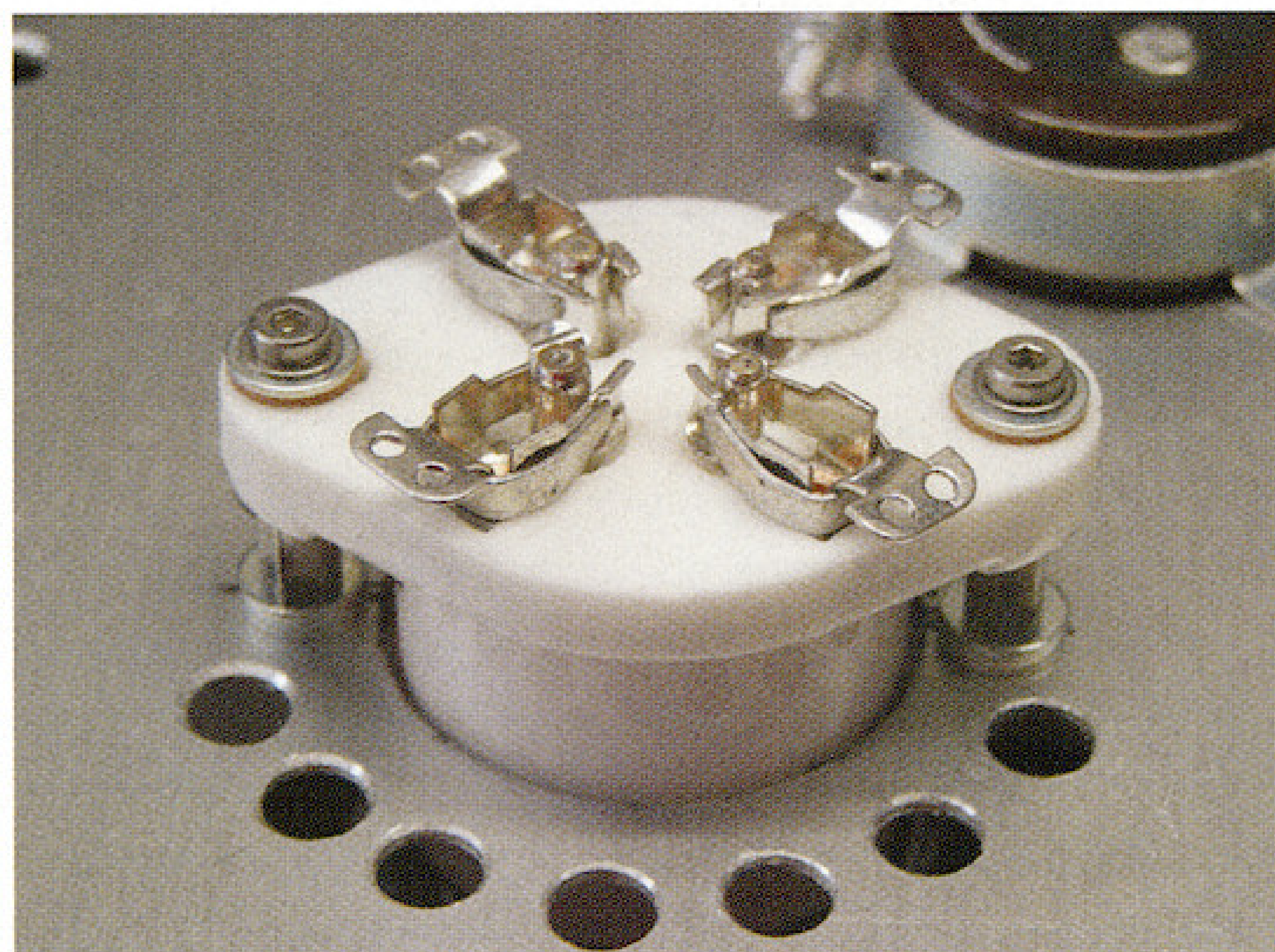
De WE300B heeft het laatste decennium een groot aantal fabrikanten aangezet om met een eigen versie van deze triode te komen. Variërend van een zo goed mogelijke kopie tot afwijkende types en vormen. Waar begin jaren 90 eigenlijk alleen het Amerikaanse Cetron en het Chinese Shuguang, hier vooral bekend onder de naam Golden Dragon, fatsoenlijke en goed verkrijgbare WE300B kopieën produceerden zijn ze nu niet haast niet mee te tellen. De Russische Sovtek, Electro Harmonix (beide gemaakt in dezelfde fabriek) en Svetlana of Winged C, zoals die nu genoemd wordt. De Chinese Shuguang, TianJin, ook bekend onder de naam Full Music en TJ en Valve Art. Uit Tsjechië KR-Audio, Emission Labs, EAT. JJ Electonics uit Slowakije. Bijna allemaal maken ze nog één of meerdere uitvoeringen van de 300B, variërend van één op één uitwisselbaar met de WE tot opgevoerde versies die het dubbele vermogen kunnen leveren. Omdat de triodes allemaal hun eigen karaktertrekken bezitten, goede tot uitstekende klankeigenschappen hebben en van goed betaalbaar tot kostbaar variëren, heeft de 300B gebruiker van vandaag een fantastisch ruime keus. Wie had dat in 1988 kunnen bedenken?

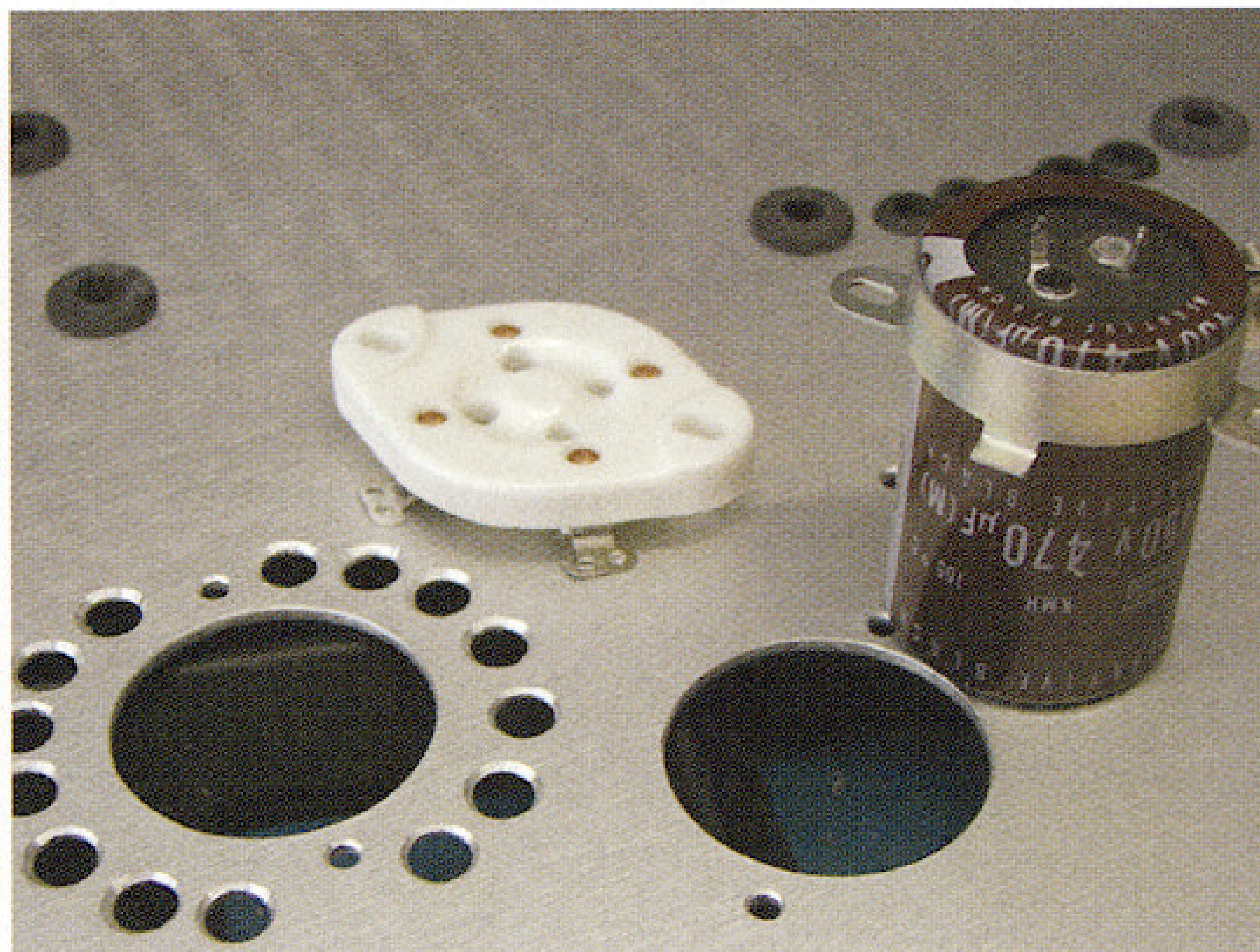
Principes, normen en waarden

Maar wat is nou eigenlijk het verschil tussen een indirect verhitte buis, zoals bijvoorbeeld de KT88 en een direct verhitte buis? Dat zit hem in de vorm van gloeidraad en kathode. Bij de meer moderne buizen (om maar een vergankelijke aanduiding te gebruiken) is de gloeidraad gescheiden uitgevoerd van de daadwerkelijke kathode. De kathode is in de vorm van een rond of ovaal buisje gemaakt waarin de geïsoleerde gloeidraad geschoven is om zo van binnenuit de kathode te verhitten en op de gewenste temperatuur te krijgen om de emissie op gang te krijgen. Dat maakt het voeden van de gloeidraden vanuit de trafo veel eenvoudiger. Bij de oudere direct verhitte buis (kan zowel een triode als een meerroostertype buis zijn) is de gloeidraad meteen ook de kathode. Voed je die met wisselstroom, dan wordt de 50 Hz brom netjes mee gemoduleerd en hoorbaar in de luidspreker. Zelfs met een ontbrompotmeter, die je veel ziet op de oude versterkers, is de boel nooit echt stil te krijgen. Voeden met gelijkstroom is dan een optie. Maar dat klinkt in de oren van sommigen weer duidelijk minder. Een mooi compromis is een stroombron als voeding te gebruiken. Dat is ook in de hier besproken versterker gedaan. Het voert hier te ver om de werking van een stroombronvoeding voor de eindbuis uitvoerig te bespreken. Op de site van de leverancier van deze voedingmodule vind je uitgebreide informatie over de werking, voor en nadelen van de verschillende voedingmethodes.

Drie hoofdstromen

Versterkers, buis én solid state, kun je ruwweg opdelen in twee kampen: push pull en single ended. Beide met hun eigen voor en nadelen. De single ended triodeversterker is het oudste principe. De versterking is recht toe recht aan van in- naar uitgang. In de basis kan het met één spanningversterkende buis en één eindtriode. Nadelen? Bijna altijd een laag uitgangsvermogen, relatief veel vervorming en een laag rendement. Een in een single ended versterker gezette eindbuis geeft van het vermogen dat er in de anode wordt gestookt, maar 25 % terug aan de luidsprekeruitgangen. De rest gaat op in warmte. De uitgangstransformator moet met een luchtspleet worden uitgevoerd om kernverzadiging te voorkomen die door de ruststroom van de eindbuis veroorzaakt wordt. Deze loopt immers continu eenzijdig door de primaire wikkeling en levert een magneetveld op dat niets met geluid te maken heeft. Dat betekend vervolgens ook dat we een veel grotere trafokern moeten gebruiken en er veel wikkelingen op moeten leggen



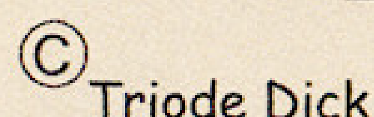


Classic Two

Stereo single ended 300B eindversterker

update: 26-8-2008

(Slechts 1 kanaal getekend.)



Figuur 1
Schema audiodeel van de Classic-two

om toch voldoende inductie te krijgen voor een fatsoenlijke laagweergave. Grote kernen van goed trafo-ijzer kosten veel geld. Zijn er eigenlijk wel voordelen aan dit 'lelijke eentje uit de oertijd van de audioversterking? Ja, in ieder geval één en niet de minste: de weergavekwaliteit! Ik ken geen ander versterkerprincipe die de allerbelangrijkste 'eerste watt' beter weer kan geven. Bedenk dat de meeste muziek in die eerste watt zit en alles daarboven er is voor de headroom. In de weergave van die kleine muzieksignaaltjes kan een single ended versterker excelleren als geen andere. Geen versterkerprincipe ook waarmee de akoestiek van de opnameruimte beter in je huiskamer kan worden ervaren, wat hoogstwaarschijnlijk weer op dat eerste watt punt terug te voeren is. Muziek lijkt met een goed gemaakte single ended versterker steeds weer meer vloeiend uit de luidspreker te komen. Maar let weer even weer op het woord 'goed'. Een matige geconstrueerde SE versterker is echt de mindere van een mooie push pull. Net zoals een goed ontworpen solid state versterker korte metten maakt met een mediocre versterker met buizen. Als je het doet, doe het dan liever meteen goed.

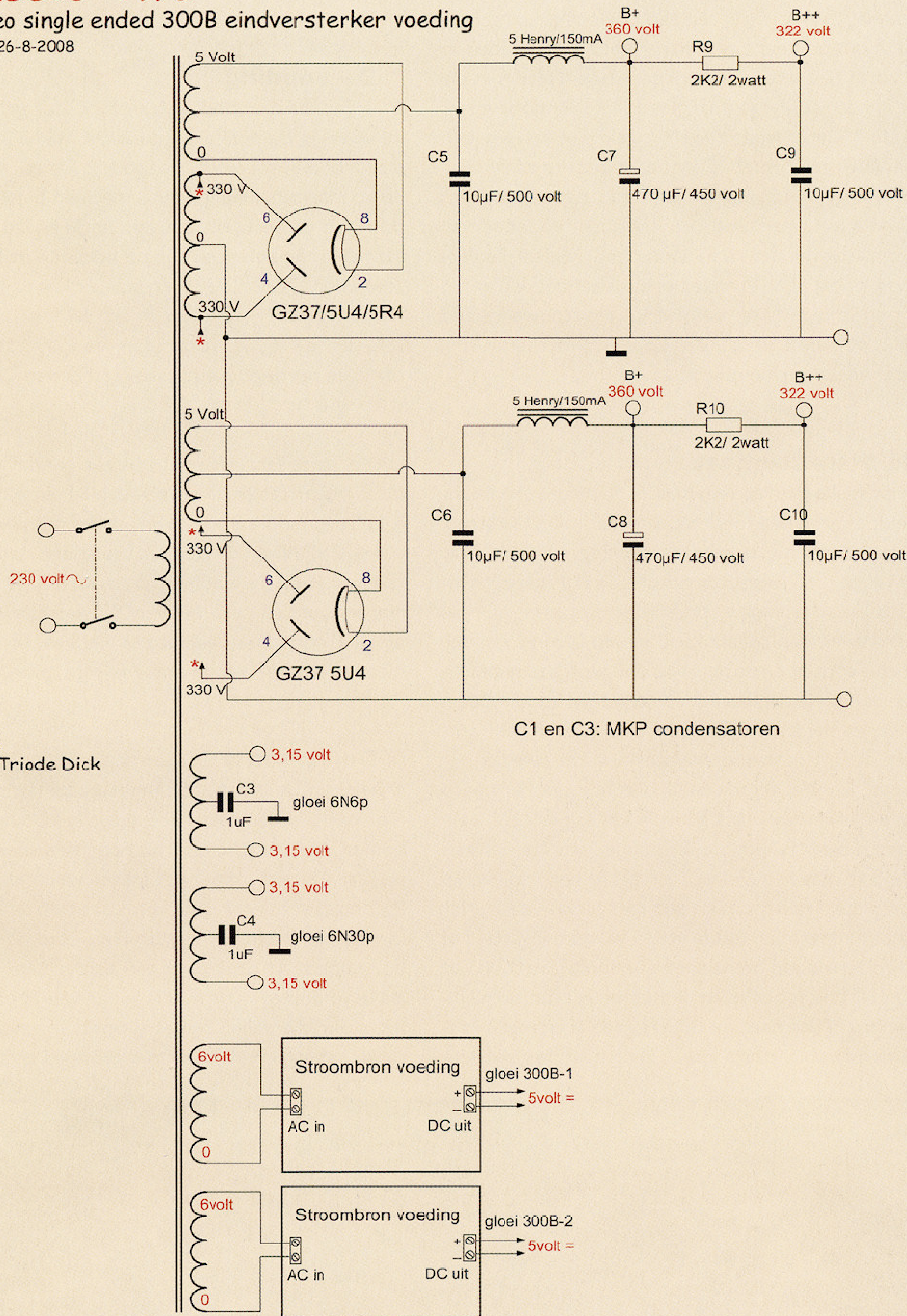
Dwars tegen alle nieuwe technische stromingen in, is het nooit gelukt om de buis definitief buitenspel te zetten. Integendeel, anno 2006 heeft onze gloeiende vriend een vastere voet op aarde dan het de laatste 30 jaar gehad heeft. Het aantal fabrikanten dat (weer) buisversterkers verkoopt is al lang niet meer bij te houden. Ook door de vele Chinese versterkers die de markt overspoelen. Met het nodige kaf onder het koren helaas.

Wat gaan we doen?

Ik wilde wel weer eens een volbloed 300B SE eindversterker bouwen, op een enkel compact chassis. Er komen een paar handige dingen in de versterker die het gebruiksgemak en de geluidskwaliteit alleen maar ten goede komen. Een paar nieuwerwetse zaken waarin de nodige solid state elektronica is verwerkt ter ondersteuning van de klassieke buizenschakeling. Nee, geen halfslachtig gedoe met hybride oplossingen, maar solid state dat in dienst staat van de buis, zonder zich hard in de signaalweg te wringen. In deze versterker speelt de buis de hoofdrol, niets anders.

De schakeling

Een single ended versterker is in de basis simpel. We hebben een zogenaamde drivertrap en een eindtrap. De laatste bestaat uit de powertriode en uitgangstransformator, de eerstgenoemde uit een spanningversterkende trap die voldoende spanning moet kunnen leveren om de eindbuis maximaal uit te kunnen sturen. Om een 300B goed aan te kunnen sturen is ongeveer 70 volt piek nodig, ofwel 50 volt RMS. En dan moeten we de stuurtrap niet zo maken dat 'ie deze spanning net aan, lees: alleen met veel vervorming, kan leveren. Een beetje reserve is wel zo prettig. Dat dit geen sinecure is zie ik regelmatig aan versterkers die al bij gering uitsturen, zelfs voor een single ended versterker, veel te snel en te veel in de rode cijfers raken. Ik heb ze al op de meetbank gehad die met 2, 3 watt aan de luidsprekerklemmen eigenlijk al ontoelaatbare vervorming aan het



Figuur 2
Schema voeding van de Classic-two

muzieksignaal toevoegden. Vervorming heb je altijd, zeker bij een non-feedback ontwerp, maar we moeten niet overdrijven.
Het complete schema van het audiodeel van de versterker staat in figuur 1. De eerste buis vanaf de ingang is een 6N6P, een Russische dubbeltriode, een soort van ECC82 die aan de groeihormonen is geweest. Een prachtbuis, heb ik de laatste jaren ervaren. Het is duidelijk een broer van de bekende 6N30P, de superbuis, maar wat ronder van karakter. De 6N6P wordt in een SRPP schakeling gebruikt. Deze zorgt voor de spanningversterking. In het verleden heb ik diverse keren ruzie gehad met een SRPP als directe driver voor een eindbuis. Dat gaat te vaak gewoon niet lekker genoeg. Zelfs een 6SN7 gaf me vaak een wat wringend gevoel. Ik had de SRPP al min of meer afgezworen in dit soort situaties. Maar wat als de SRPP trap gebufferd wordt door een kathodevolger? Dan hoeft 'ie van zijn lang-zal-ie-leven geen echte arbeid meer te verrichten. De kathodevolger heeft van nature zo'n enorme hoge ingangsimpedantie dat de voorliggende trap dit eigenlijk nauwelijks als een belasting ziet. Ik kwam er pakweg anderhalf jaar geleden achter dat deze opzet van een DC gekoppelde SRPP en kathodevolger werkelijk formidabele

weergavekwaliteiten in zich heeft. In een voorversterker die ik er mee bouwde was de enorme spanningzwaai met een lage vervorming een extra beloning. Dat gaf me het idee om ook eens een driver voor een eindbuis in deze vorm te maken. De extreem lage uitgangsweerstand van de parallel geschakelde 6N30P kathodevolger geeft de Millercapaciteit weinig gelegenheid om een hoogaf filter te vormen. Dat maakt de hele schakeling breedbandig. De uitgangstransformator geeft de grens aan. Zo als het eigenlijk hoort. Een ander voordeel van deze opzet is het schaarse aantal onderdelen die verder nog nodig zijn. Van de zeven weerstanden in de stuurtrap zijn er nog eens drie als stopweerstand gebruikt ook. Er is slechts één koppelcondensator, tussen kathodevolger en eindbuis.

De biasautomaat

De biasinstelling van een eindbuis is op meerdere manieren te doen, met een (ontkoppelde) kathodeweerstand, een aparte negatieve roosterspanning of zoals hier gedaan is, met een volautomatische bias of ruststroomregeling. De schakeling en praktische uitvoering hiervan is ontstaan uit een collaboratie tussen Menno van der Veen en Tentlabs. Deze autobias unit wordt uitgebracht als een complete deelbare print (regel- en voedingsdeel kunnen gescheiden worden) die zonder al te veel problemen in veel bestaande versterkers kan worden ingebouwd. Ik moet zeggen dat ik bijzonder gecharmeerd ben van het gemakkelijke gebruik en de perfecte werking van deze bias module. Er kunnen vier eindbuizen per module mee bediend worden die na het instellen op de gewenste ruststroom als een rots blijven staan. Met een paar jumpers kan van te voren worden ingesteld of het regelbereik van de negatieve spanning op 0 - 85 of op 0 - 160 volt moet staan. Ik heb de eerste mogelijkheid gekozen. Dat dekt alle 300B's goed af en regelt vanuit een sympathieke lage bias snel op naar de gewenste 70 mA als de inschakelvertraging die in de bias module is ingebouwd omschakelt.

De voeding

Er is een enkele voedingstransformator gebruikt maar de voeding is vanaf de secundaire wikkelingen geheel dual-mono opgebouwd, zie figuur 2. De gelijkrichting van de voedingspanning gebeurd met een buis, nog steeds hoorbaar de beste optie in een single ended versterker. Mogelijke diodebuizen zijn de bekende maar kostbaar geworden GZ37/CV378, de 5U4, ook in een prima Russische uitvoering te koop, of een 5R4, waarvan er nog veel uit de oude voorraden verkrijgbaar zijn. Met name de oerdegelijke potato masher van Chatham uitvoering is hier perfect.

De eerste afvlakcondensator is een relatief kleine 10 uF MKP motorstarter. Dan volgt een 5 Henry smoorspoel, ik heb een mooie amorfe kern choke gebruikt, en daarna een 470 uF Nichicon elco. Dat geeft een stabiele schone voeding voor de eindbuis. De voortrap is vandaar uit nog eens ontkoppeld met een 2K2 weerstand en een 10 uF MKP condensator. Het zijn niet veel componenten, maar ze nemen wel de nodig ruimte in.

De opbouw

Ik heb een kant en klare aluminium behuizing gebruikt. Normaal worden daar onderdelen ingebouwd. Maar nu komen de verschillende componenten zowel in als op de kast. Om dat mogelijk te maken wordt de kast eigenlijk omgekeerd gebruikt. Normaal zitten de koelsleuven aan de bovenkant. Wij gebruiken deze bovenplaat als bodemplaat. In deze plaat zijn echter een viertal gaatjes te vinden voor de montage van vier rubberen voetjes, maar die vallen netjes weg als alle noodzakelijke gaten eenmaal in de plaat zijn geboord en geponst.

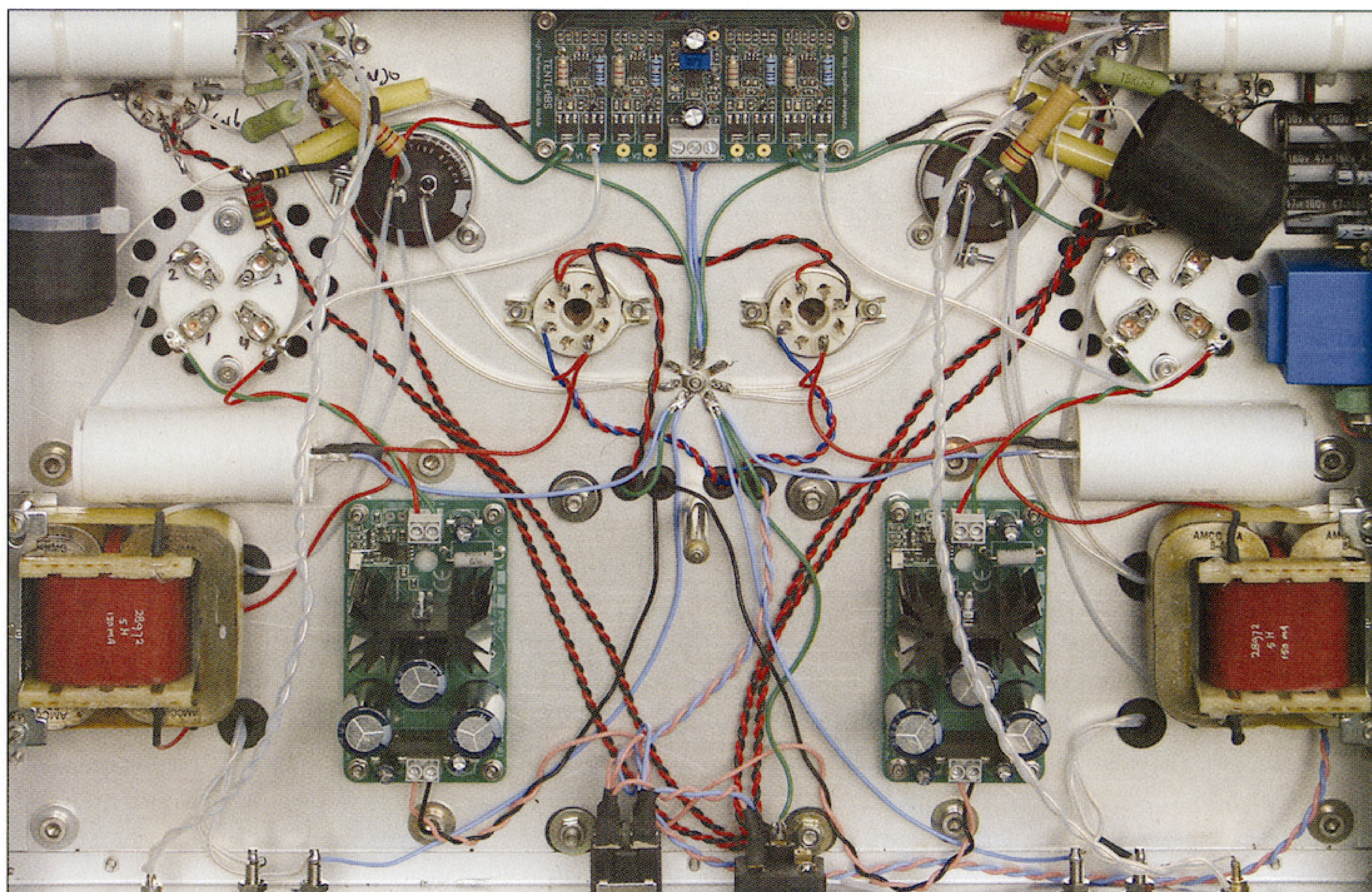
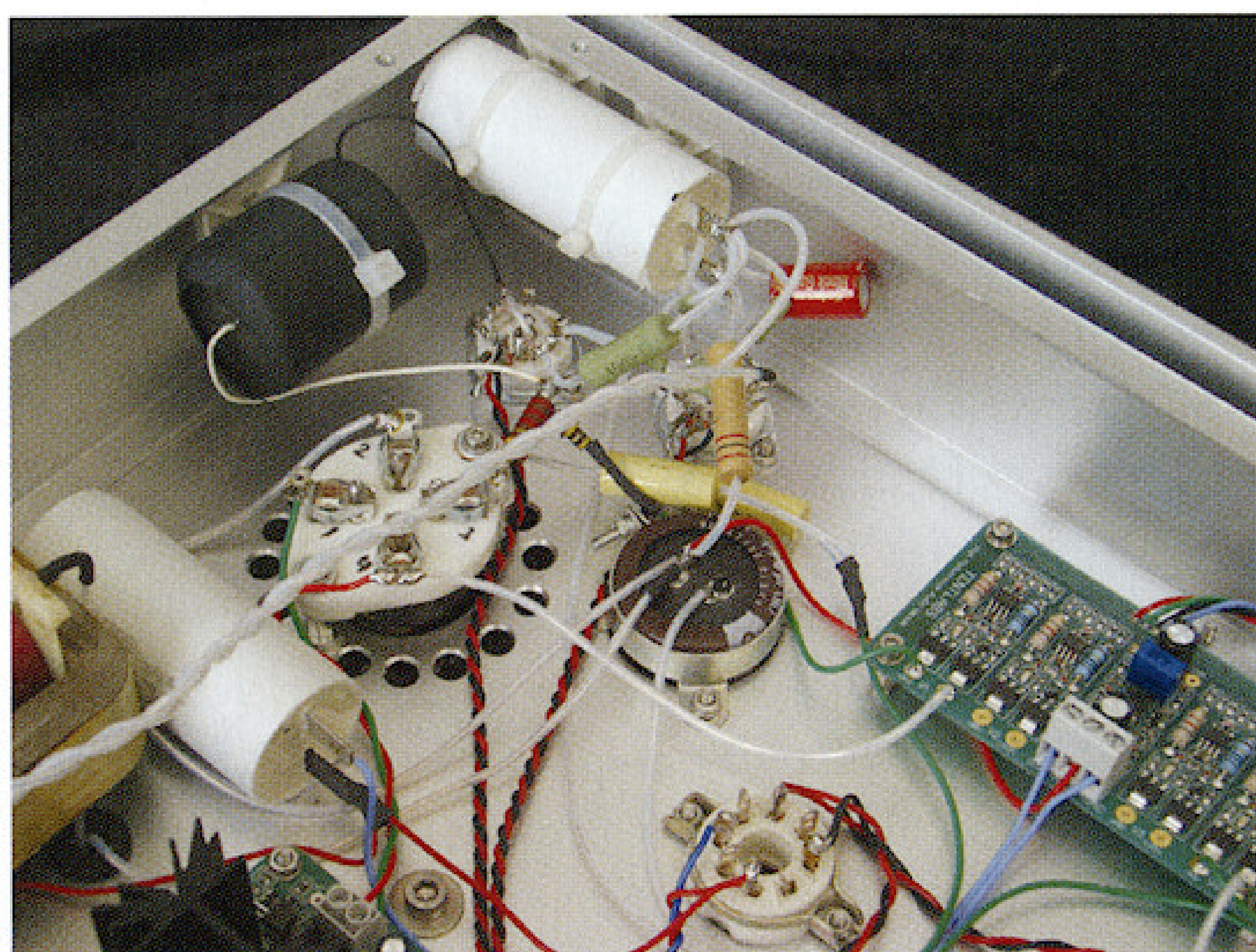
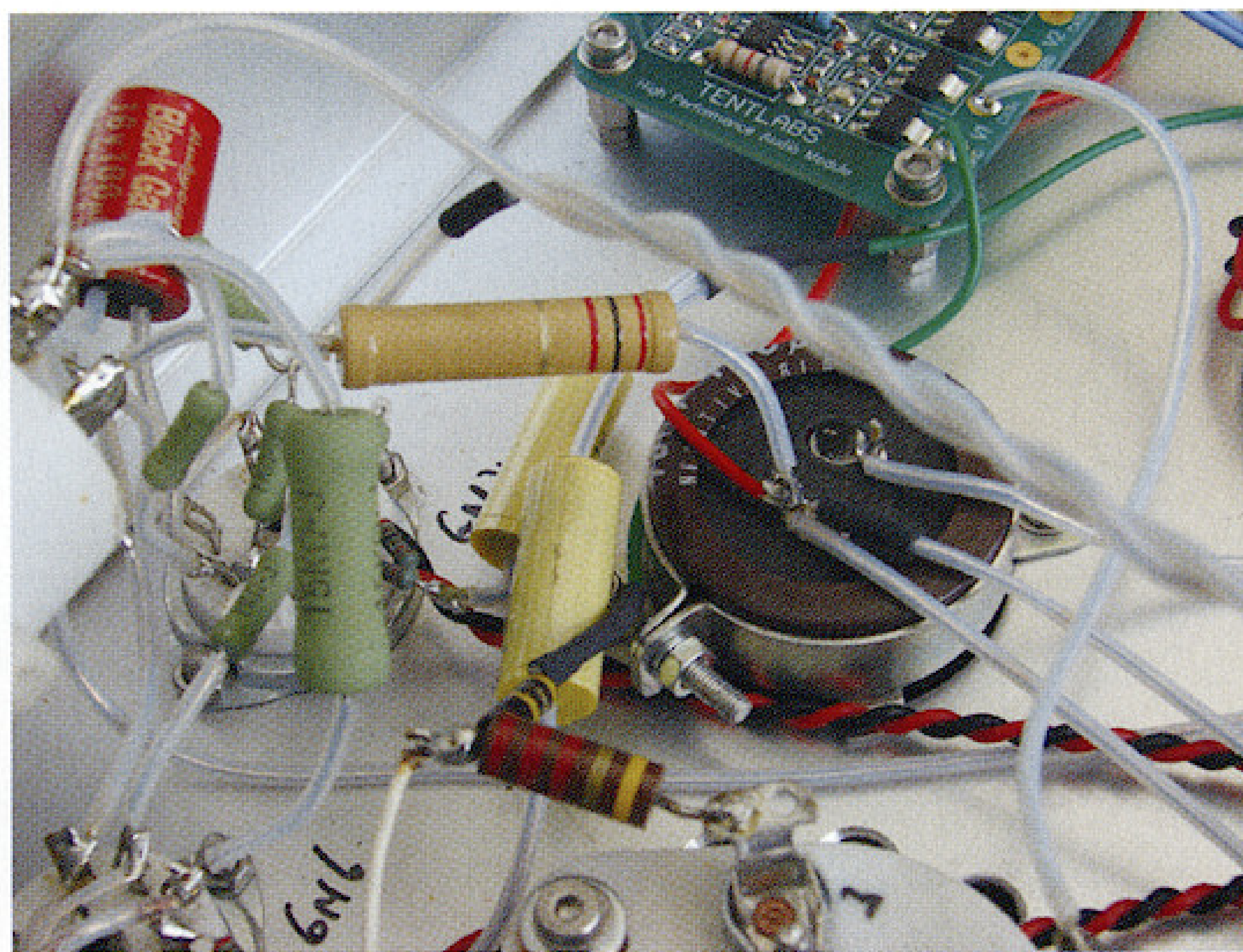


Foto 2
Afgemonteerde Classic-two aan de onderzijde





De eerste stappen naar een nieuwe versterker bestaan altijd uit het 'droog' oefenen. De buizen en trafo's worden los op het chassis gezet en we schuiven een beetje tot de gewenste plek definitief is bepaald. De gaten worden secuur afgetekend en met een centerpunt ingetikt om weglopende boortjes te voorkomen. De volgende klus is voor de meesten onder ons het minst aantrekkelijk: de gaten moeten geboord, geponst, gezaagd en gevijld worden. Ben je snel een dagje zoet mee. Maar wat is nou een dag in het lange dienstbare leven van je toekomstige versterker? Als het hakken en zagen gebeurd is, de krullen zorgvuldig opgeveegd of opgezogen, kan het opbouwende werk beginnen. Eerst gaan de rubbertules in de gaten waar bedrading moet worden doorgevoerd. Nooit zonder die dingen werken. De isolatie van bedrading kan gemakkelijk insnijden langs een harde rand van een gat. Daarna krijgen de buishouders hun plek. Eerst de kleine noval dan de octal houders voor de gelijkrichtbuizen. De UX-4 houders voor de 300B's heb ik wat verzonken in het chassis gezet. Zonder speciale reden, maar het staat wel chique. De buisvoet valt dan een stukje door het chassis heen. Een beetje oppassen is het met het porselein waarvan de UX-4 buishouder is gemaakt, waarin ook de montagegaten zijn gemaakt. Ik gebruik zelf aan weerskanten van gaten stevige papieren ringetjes om mechanische stress van metaal op het harde porselein tegen te gaan. Als de buishouders los-vast gemonteerd zijn schuif je de 300B er in. Voorzichtig aan, er mag niks afbreken. Nu kun je de 35 mm dikke buisvoet netjes centreren in het 37 mm grote chassisgat. Dan pas de boutjes en moertjes stuk voor stuk vastdraaien. Vast is vast, er hoeft geen olifant aan te hangen. Als de buishouders gemonteerd zijn komen de voedingelco's aan de beurt. Die zitten in eenzelfde 37 mm diameter gat in het chassis, en worden met bijbehorende klemmen van onderaf gemonteerd. Zorg hier ook voor een nette centrering in het gat. De printplaten moeten ook nog een mooi plekje krijgen. De autobias module is opdeelbaar in twee stukken. Het gedeelte waarop het voedingstrafo zit krijgt een plaats aan de zijkant van het chassis. De regelprint zelf wordt centraal midvoor in de kast geplaatst, niet ver van de eindbuizen. De stroombronvoedingen komen op het chassis onder de uitgangstrafo's. Nu kunnen de zware trafo's boven op het dek worden geplaatst. De uitgangstrafo's worden eerst voorzien van aansluitdraden die duidelijk worden gelabeld om aansluitfouten te voorkomen. Als de trafo's eenmaal op het chassis zijn vastgeschroefd is niet meer te zien waar de draden naar toe gaan. Ik had een grote vierkante gaten onder de uitgangstrafo's kunnen zagen, maar dan kan daar niks meer gemonteerd worden. En die ruimte kon ik nu goed gebruiken om de gloeistroomvoedingsprinten te 300B te monteren. De behuizing is niet echt supergroot te noemen, er moet dus met een beetje beleid gepast en geschoven worden om de verschillende onderdelen een nette plek te geven. Dat is uiteindelijk prima gelukt overigens. De versterkerkast oogt ondanks de relatieve compacte bouw netjes en overzichtelijk.

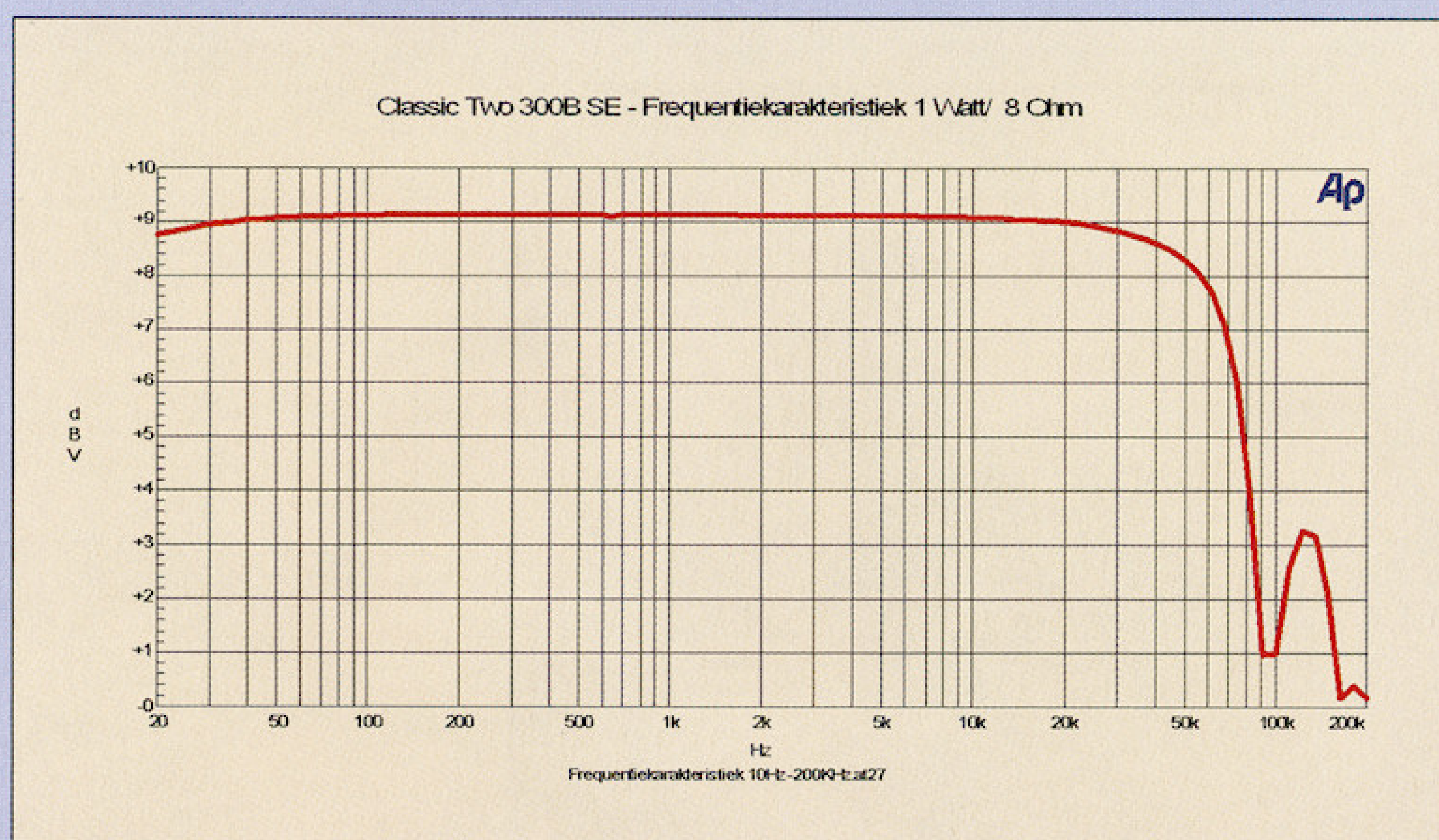
Als de trafo's zijn vastgeschroefd kan de kast op de kop op de werkbank worden gezet. De cinchaansluitingen, de speakerterminals, de toggleschakelaar en de IEC netaansluiting worden in de al aangebrachte gaten geschroefd.

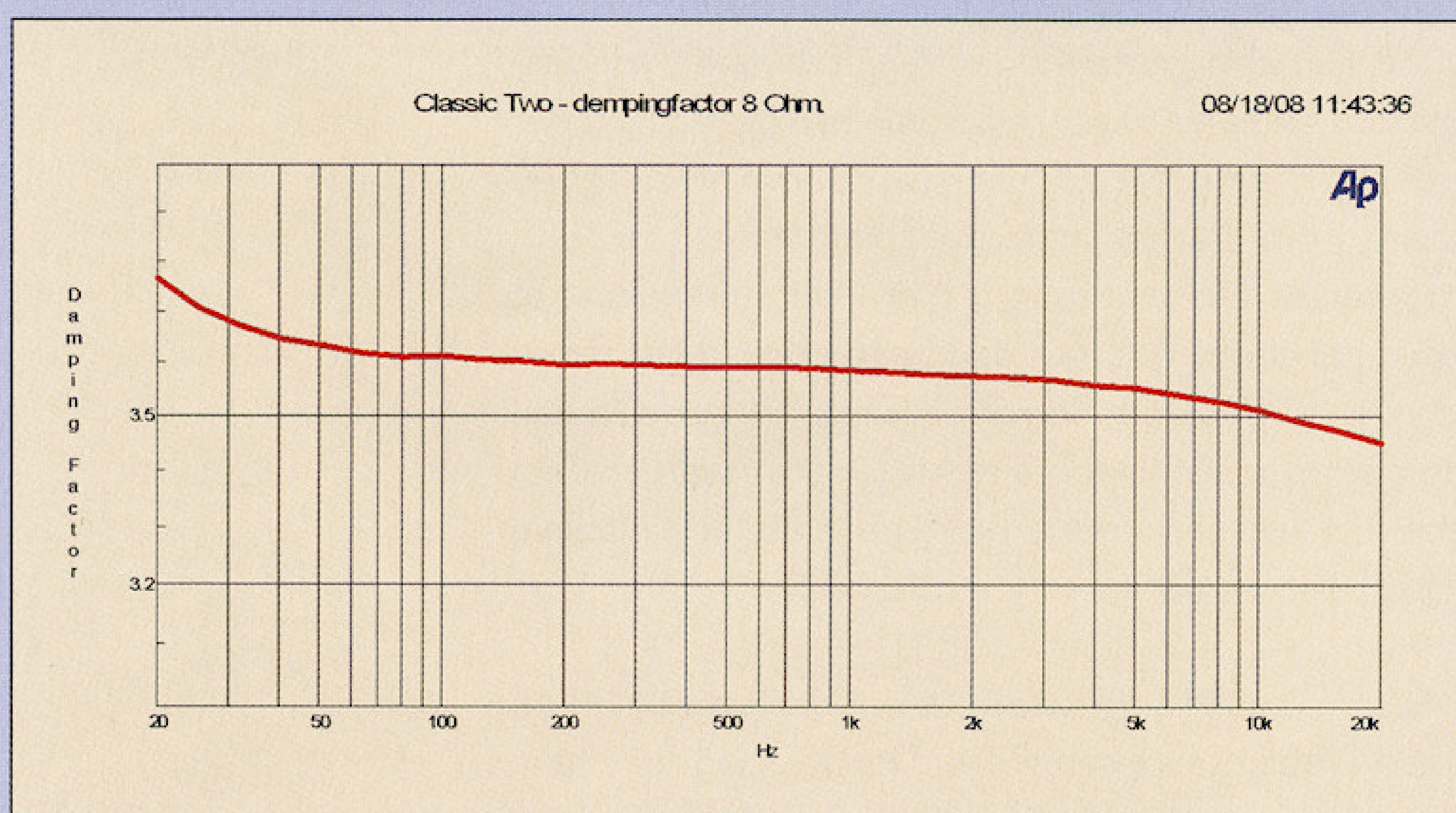
Bedraden

Voor de 6,3 gloeidraden van de voorbuisjes worden stevig in elkaar getwiste draden gebruikt. Iets wat overigens je met alle bedrading moet doen die wisselstroom (AC) voeren. Goed twisten voorkomt bromuitstraling en onderlinge beïnvloeding. Ik doe dat twisten zelf met hulp van een accuboormachine. Als alle bedrading op zijn plaats zit worden de weerstanden en ontkoppelelco's in de versterker gesoldeerd. Het komt dit keer mooi uit dat de voedingontkoppelcondensator dicht bij de voortrappen zit. Dit geeft een heel compact circuit waar de weerstanden zonder extra draadsteun te gebruiken op hun plek zijn gesoldeerd.

De spanning er op

Check alles dubbel voor de spanning op het apparaat gaat. Het is gelukkig vaak niet meteen desastreus als er een aansluiting in de voortrappen verkeerd is gesoldeerd. Dat spreekt voor de degelijkheid van de buiselektronica, maar je wilt niet dat een je dure eindbuis een felrode anode krijgt doordat er ergens een vergissing is gemaakt. In de handleiding van de autobiasmodule wordt een juiste wijze van aansluiting en het vooraf controleren of alles goed werkt stap voor stap behandeld. Doe dat ook. Het aansluiten van de autobiasautomaat is alles behalve complex, maar het moet wel goed gebeuren. Als er verder geen gekke dingen te zien zijn gaan we de spanningen stuk voor stuk nameten. Nooit met twee





Figuur 3
Frequentiekarakteristiek Classic-two

Figuur 4
Dempingsfactor Classic-two

handen tegelijk in het apparaat prutsen als de spanning er op staat. Stop de hand die niks doet maar in je broekzak. Andere hand aan de meetpen.
Als je een scoop en sinusgenerator hebt kun je die uiteraard mooi gebruiken. Sluit eerst de luidsprekeruitgangen af met een 8 Ohm/25 Watt weerstand.
Ben je niet in het gelukkige bezit van meer meetgereedschap? Geen probleem. Als alle gemeten spanningen er gezond uit zien gaan we maar meteen over op muziek. Sluit een luidspreker aan op de daarvoor bedoelde uitgangen en een voorversterker op de ingangen. Let wel, de versterker is niet gevoelig genoeg om met een uitgangsignaal uit bijvoorbeeld een CD-speler tot vol vermogen uit te sturen. Het is echt de bedoeling dat er een voorversterker wordt gebruikt die meer uitgangspanning kan leveren.

Metingen

Voor een single ended versterker zonder enige vorm van negatieve tegenkoppeling mag ik zeggen dat deze het goed doet op de meetbank. Vergeleken met een solid state versterker toont het uiteraard ronduit matig. We moeten bij het meten van single ended versterkers andere normen aanhouden. Een paar procent vervorming bij verder uitsturen zal geen enkele probleem zijn. Het opvallende is dat bij een buisversterker van vervelende vervormingen meestal niets te horen is als er muziek uit de luidspreker komt. De frequentierespons, zie figuur 3, geeft het -3 dB punt op 74 kHz. Bij ongeveer 140 kHz is een lichte bult van de traforesonantie te zien. De vervorming neemt bij het verder uitsturen wel toe, maar mooi regelmatig en het blijft over de volle frequentieband constant.
De dempingfactor is vanzelfsprekend laag, maar omdat er een echte triode als eindbuis is gebruikt, die een lagere inwendige weerstand heeft dan een Penthodebuis, blijft het toch acceptabel. Ik meet ten opzichte van 8 Ohm een df van rond 3,6 (zie figuur 4). Een uitgangsvermogen van 7 watt in 8 Ohm geeft 1.6 % THD+n (totale harmonische vervorming plus noise, ofwel brom en ruis), voorwaar niet verkeerd voor een 300B SE buizenbak (zie figuur 5). Daarboven neemt de vervorming sneller toe. Maar 8 watt zit nog steeds maar even boven 2% THD+n, zie ook figuur 6.

Maestro, muziek!

De versterker mag na de afbouw eerst een paar dagen op het audiorek tot rust komen. Hij gaat dan op een dieet van zo veel mogelijk muziek. Laat maar eens lekker inspelen die handel. Het geluid is een beetje laidback en het ontbreekt nog wat aan het transparantie en echt lekker los komen. Een normale ontwikkeling. Alle componenten zijn nieuw uit de winkel of van de plank. De versterker staat sinds 24-7-08 op stroom en de ontwikkelingen van het geluid zijn iedere dag te beluisteren. Ik vind zelf dat een vers gebouwde versterker zijn potentie al vanaf het begin moet kunnen laten horen, en met een dag of drie, vier moet er nog een duidelijk beter geluid te beluisteren zijn. Er zijn genoeg mensen die het inspelen onzin vinden. Mooi laten gaan, vertrouw maar op je eigen oren. Als je dagelijks even lekker ontspannen in je luie stoel of op de bank gaat zitten voor een mooi stukje muziek merk je waarschijnlijk zelf wel dat je glimlach steeds breder wordt. Ook deze Classic Two is daar geen uitzondering op.

Meteen al geen wensen meer?

Welnee. Wat na een paar dagen spelen blijft is een net te ingehouden, te brave weergave. Toch eens wat met de koppelcondensator tweaken. De als mooi smooth bekend staande Jantzen Silver (slechts een titel, er is geen zilver in verwerkt) condensator moet wijken voor een Russische K-40 papier in olie condensator. Een militaire condensator, superieur gebouwd met een metalen behuizing en glas gesealde zijkanten. Deze condensatoren zijn de laatste jaren massaal op de markt gedumpt, in verschillende capaciteiten, te koop voor ronduit weinig geld. Grijp je kans nu het kan, als de voorraad over een tijdje ongetwijfeld uitput, zullen de prijzen van deze mooie componenten snel omhoog gaan. Deze koppel condensator maakt het geluid meteen meer open, geeft wat meer presentie in het midden en de doortekening en afbakening van instrumenten en zangstemmen vaart er wel bij. Dit past me al beter. Er is vanzelfsprekend een ruime keus aan koppelcondensatoren: Mundorf, Audyn, Solen, Auricap, Jupiter Beewax, Aura Teflon enz. Tweak er lekker mee, zoveel je wilt. Als laatste heb ik een 'Grand Crue' koppelaar in de versterker gesoldeerd in de vorm van een Audio Note Silver (wel met echt zilver). Vreselijk kostbaar,

maar voor mij ook echt de allermooiste die tot nu toe in mijn versterkers heb gebruikt. De rijkste detaillering, in harmonie van laag tot hoog, vloeiend als honing, maar zonder de bekende bruinige kleuring die vaak nog (ten onrechte!) aan een typisch buizengeluid wordt toegeschreven. Beter zul je ze haast niet vinden.

De 300B zelf dan?

Het toeval wil dat ik momenteel met een zeer uitgebreide test van 300B triodes bezig ben. Er zijn daarvoor op het moment van schrijven al een twaalftal verschillende fabricaten en types in huis. Wat de allermooiste 300B van vandaag is? Daar zal ongetwijfeld ook persoonlijke voorkeur van doorslag zijn. Ik vind zelf in ieder geval dat Western Electric zijn reputatie meer dan waar maakt met de huidige productie. Als ik die op de Classic Two heb staan is het geluid echt af, zo harmonieus, zo mooi transparant. Maar er zijn er meer waar ik me volledig in kan vinden.

Wat me al wel duidelijk is: alle 300B variaties en klonen klinken weliswaar verschillend van elkaar maar ze hebben allemaal hun kwaliteiten. Er is op de een of andere manier sprake van een zeker niveau bij deze triodes. Dat maakt dat met alle 300B variaties prima is te leven. Ik durf gerust te beweren dat als je bijvoorbeeld je versterker uitrust met de aantrekkelijke goed gemaakte gunstig geprijsde *Electro Harmonix EH300B* en de rust hebt om er van te willen genieten, een eigenschap dat helaas bij te veel zogenaamde audiofielen ontbreekt, je heel gelukkig zult zijn met je geluid. Een paar andere voorbeelden van 300B types die op de Classic Two zijn ingezet: de nieuwe *Emission Labs 300BM*, uitgevoerd met een gaasanode, machtige buis, de bekende en terecht geroemde Chinese *Full Music*, met zijn ballon-vormige glas en geperforeerde semi-mesh anode, de wat mystieke EAT, over de werkelijke afkomst hangt nog steeds een waas, een prachtige maar wel erg prijzige buis. En allemaal zijn ze zo uit te wisselen dankzij de ingebouwde autobiasmodule. Toch wel erg comfortabel en foolproof…

Epiloog

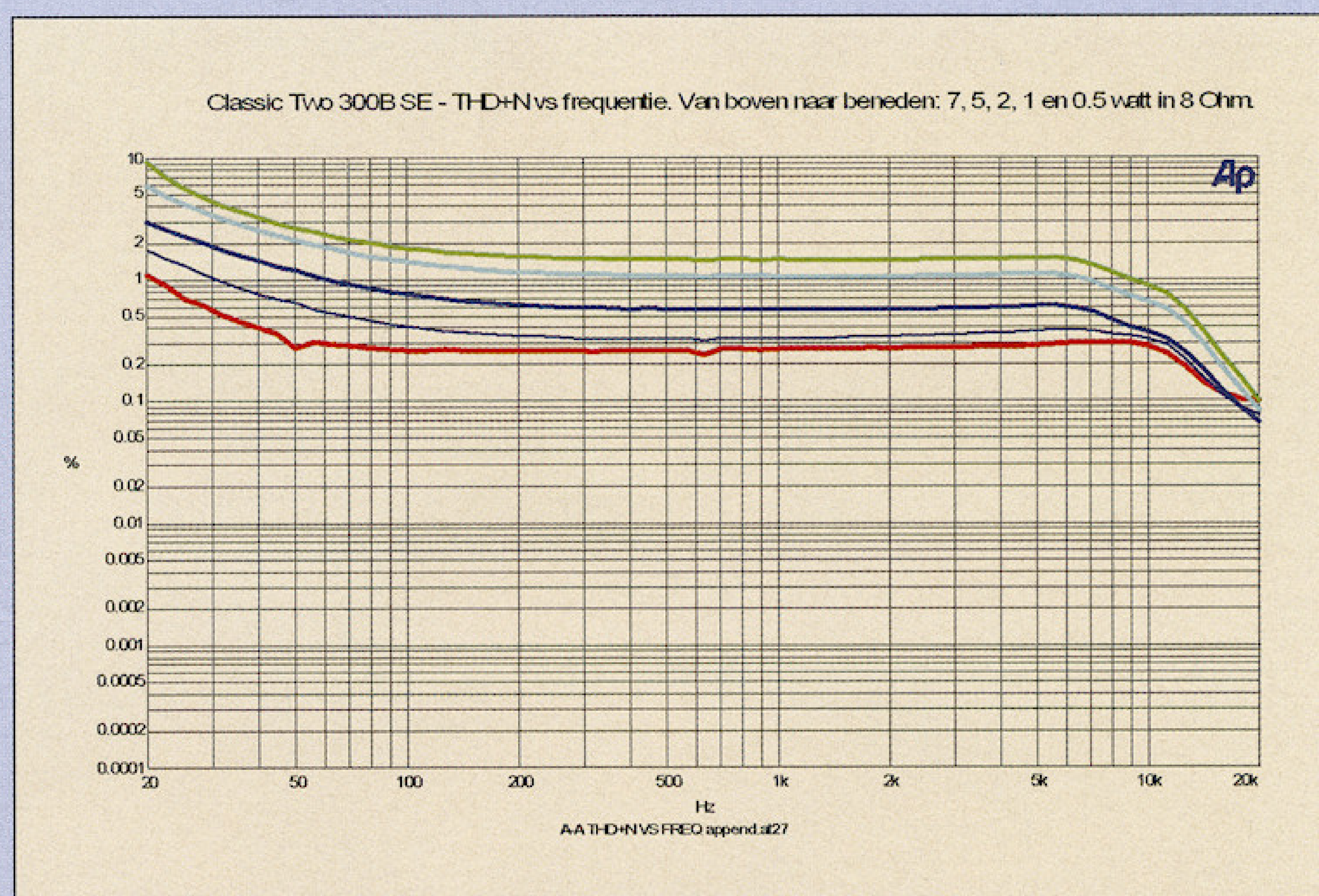
Ik hoop dat ik heb laten zien dat het zelf bouwen van een mooie 300B single ended versterker goed te doen is, qua werkzaamheden en financiële haalbaarheid. De Classic Two is een eindversterker geworden waarin de oudste buizentechniek samen met moderne ondersteunende elektronica onder één dak, tot prachtige resultaten komen.

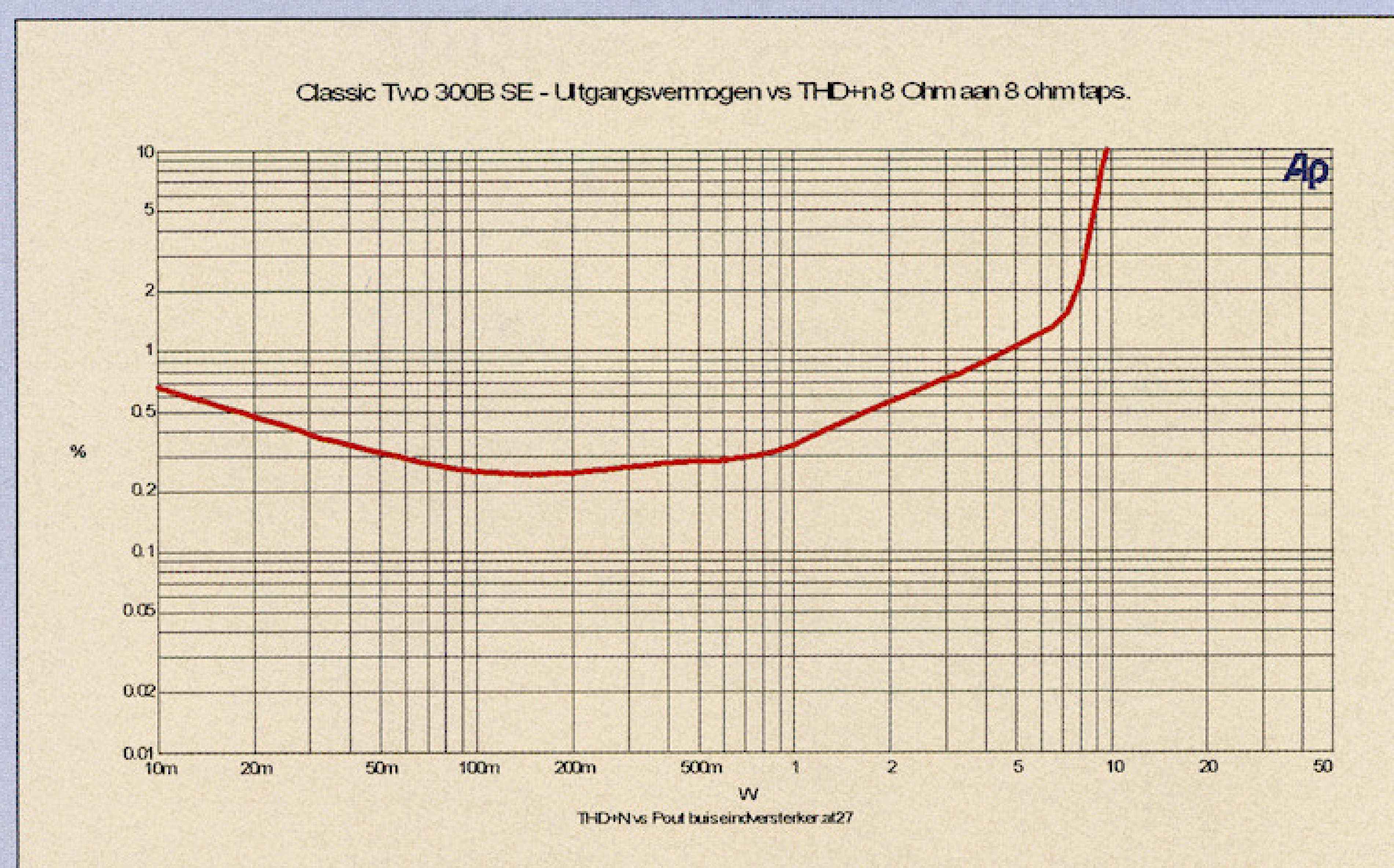
Literatuur en verwijzingen

1) www.triodedick.com: gedetailleerd fotoverslag over de bouw van deze versterker

2) www.ae-europe.nl: levering van trafo's en kast van deze versterker

3) www.tentlabs.com: levering van I-bron en autobias unit; zie ook www.mennovanderveen.nl





Figuur 5
THD+noise bij verschillende uitgangsvermogens per frequentie

Figuur 6
THD+noise als functie van het uitgangsvermogen

Stuklijst

Weerstanden:
R1, R2, R3, R4 en R5: 1kOhm/ 1 watt (Kiwame)
R6: 15kOhm/ 5 watt (Kiwame)
R7: 100kOhm/ 1 watt (Kiwame)
(alles 2 x voor beide kanalen)
R9 en R10: 2k2/ 2 watt

Buizen:
6N6P : 2x
6N30P: 2x
300B: 2 x
GZ37,5U4,5R4: 2x

Condensatoren:
C1: 100uF/ 16 volt (2x)
C2: 0,47 uF/ 400 volt of hoger (2x)
C3 en C4: 1 uF/ 250 volt MKP of MKT
C5, C6, C9 en C10: 10 uF/ 450 volt Icar of vergelijkbare MKP condensator.
C7 en C8: 470uF/ 450 volt elco (Nichicon)

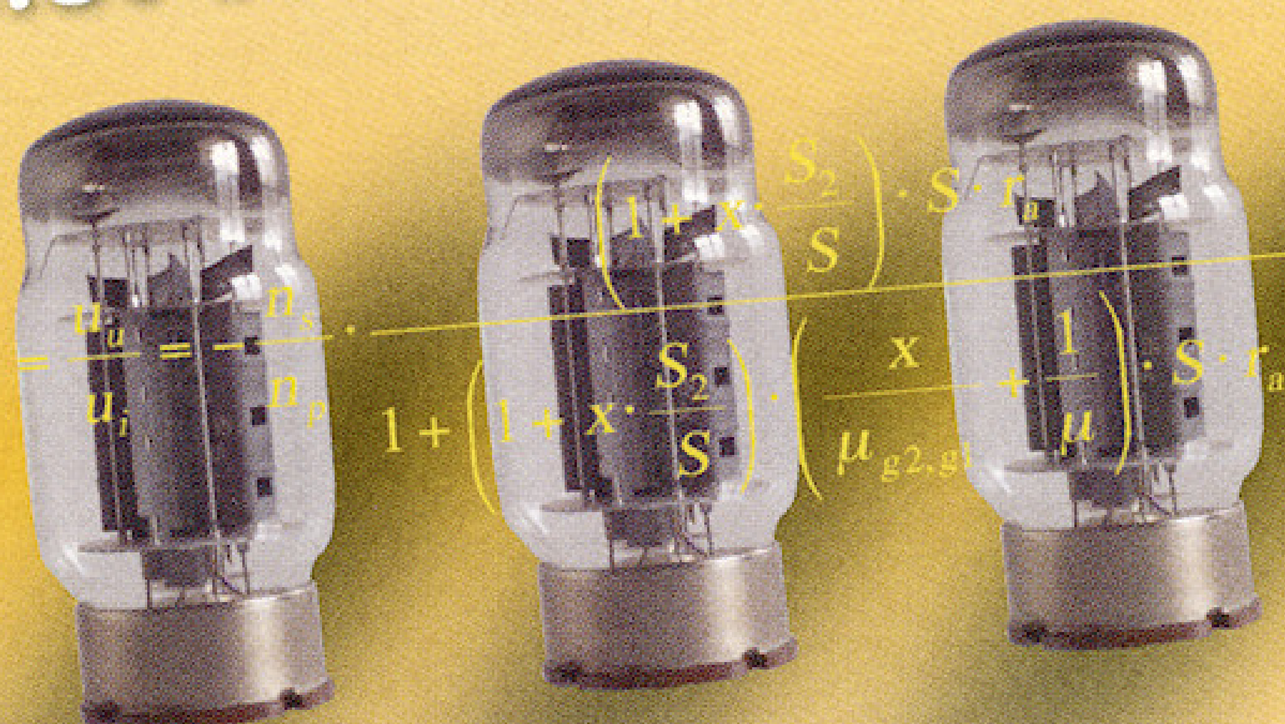
Trafo's:
Voedingstrafo, smoorspoelen en uitgangstrafo's: complete set leverbaar bij AE-Europe
Behuizing: AE-Europe

Diversen:
Stroombronvoedingen en Bias Module: Tentlabs Eindhoven.

100% Audio

Verplichte kost voor audio-liefhebbers

Fundamentele versterkertechniek met elektronenbuizen



theorie en praktijk met ontwerpmethodieken voor zelfbouw

Rudolf Moers

elektor

Kijk voor meer informatie en de inhoudsopgave op www.elektor.nl/boeken

Boeken

Een uniek en tijdloos naslagwerk

Fundamentele versterkertechniek met elektronenbuizen

Rudolf Moers heeft jarenlang gezocht naar een boek over elektronenbuizen-elektronica om te leren hoe je zelf elektronenbuizenversterkers ontwerpt en bouwt. Hij heeft dit boek echter nooit gevonden en is daarom zelf gaan schrijven. Veel kennis over elektronenbuizen-elektronica die verloren dreigde te gaan, is nu in dit boek vastgelegd. Na de inleiding volgt een hoofdstuk over de grondbeginselen van elektronenemissie. Daarna komen diode, triode, tetrode en penthode aan de orde. Vervolgens kijkt Moers naar de grenzen van audiofrequenties en legt hij uit hoe het zit met niet lineaire vervorming en ruis. Als laatste komen tegenkoppeling en het bouwen van elektronenbuizenversterkers aan bod. Veel theorie wordt getoetst aan de praktijk en ontwerpmethodieken geven de lezer een kapstok om zelf aan de slag te gaan als ontwerper en bouwer van elektronenbuizenversterkers.

805 pagina's • ISBN 978-90-5381-226-6 • € 89,00

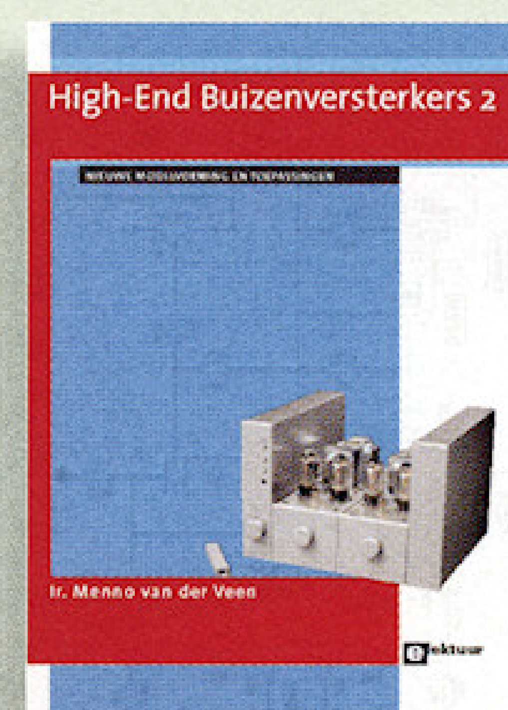


Test... 1,2,3... test

Microfoons in theorie en praktijk

Dit boek begint met een inleiding in de geluids- en microfoontechniek. Niet alleen de werking en aansluittechniek komen aan bod, maar ook zaken als stereo- en surround-opnamemethoden. In de tweede helft van het boek gaat auteur Thomas Görne in op het gebruik van microfoons in de praktijk. Naast tips voor de keuze van de juiste microfoon en een uitgebreide bespreking van typische problemen bij de opstelling van microfoons, wordt ook het gebruik van microfoons in de studio, op het podium en bij filmopnamen behandeld. De uitgebreide index en de vele nuttige tips maken het boek tot een praktijkgericht naslagwerk.

336 pagina's • ISBN 978-90-5381-230-3 • € 34,50



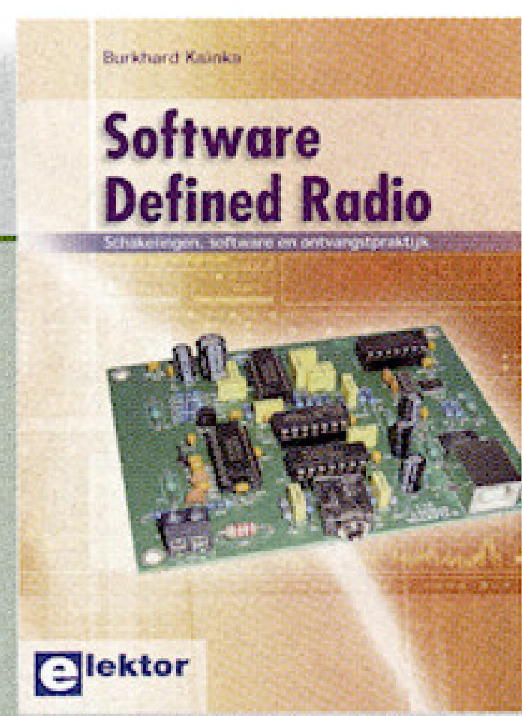
Nieuwe modelvorming en toepassingen

High-End Buizenversterkers 2

In dit boek gaat auteur Menno van der Veen via een systematisch theoretisch onderzoek na waar de fraaie eigenschappen van buizenversterkers vandaan komen. Hij presenteert nieuwe theorieën en oplossingen voor een perfecte audiokwaliteit met buizenversterkers. Het boek bevat verder toepassingsvoorbeelden, wetenswaardigheden rondom buizenversterkers, vele schema's en nieuwe ontwerpen van buizen-voor-en eindversterkers.

416 pagina's • ISBN 978-90-5381-204-4 • € 44,50

Prijswijzigingen en drukfouten voorbehouden



Beetje hardware + computer = uitstekende radio

Software Defined Radio

In mei 2007 presenteerde Elektor de 'Software Defined Radio met USB-interface'. Een eenvoudige ontvanger die dankzij toepassing van geschikte software prima ontvangstresultaten levert. Dit boek beschrijft de vele mogelijkheden van deze ontvanger. Het stelt zich tot doel een overzicht te geven van de bouw, de software en de bediening van deze Software Defined Radio. Bovendien komen zelfbouwprojecten aan bod die de lezer in staat stellen met weinig kosten eigen ontvangers te ontwerpen. De korte golf blijft immers in beweging...

188 pagina's • ISBN 978-90-5381-228-0 • € 29,95

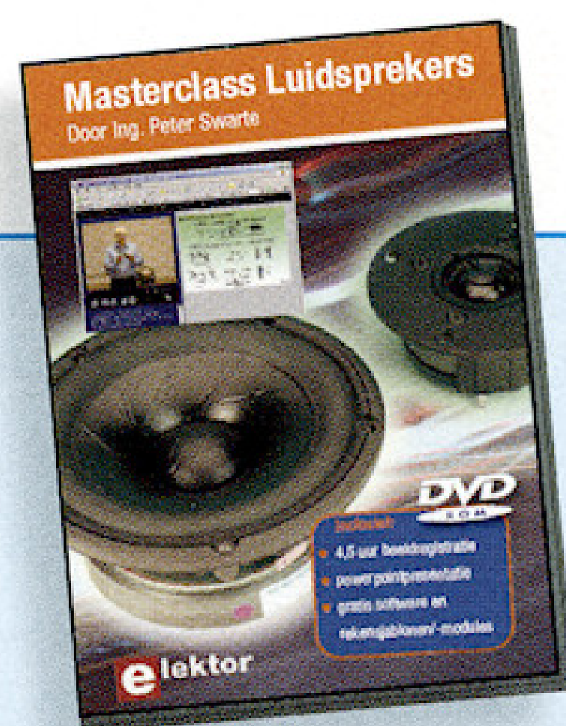


Begrijpen, ontwerpen en bouwen

Audio-elektronica

Hoe komt geluid van bijvoorbeeld band of CD bij de luidsprekers terecht? Via begrijpen, ontwerpen en bouwen geeft dit boek een antwoord. Begrijpen is de rode draad die door dit boek loopt. Bij alle beschrijvingen van de componenten en modules legt de auteur duidelijk uit wat er eigenlijk gebeurt. Eenmaal begrepen, ligt als volgende stap het zelf ontwerpen van schakelingen voor de hand. De stap bouwen bevat beschrijvingen van allerlei effect- en geluidsapparatuur. Tot slot bevat het boek een verzameling tips en trucs, o.a. ten behoeve van het foutzoeken.

231 pagina's • ISBN 978-90-5381-193-1 • € 32,50



Luidsprekers ontwerpen

DVD Masterclass Luidsprekers

Deze DVD-ROM is een registratie van de Elektor Masterclass "Luidsprekers Ontwerpen". In deze masterclass behandelt Ing. Peter Swarte (voormalig ontwikkelaar luidsprekersystemen bij Philips en docent aan de Hogere Cursus Akoestiek in Antwerpen) de theorie en de praktijk van moderne luidsprekersystemen. De DVD bevat o.a. 4,5 uur beeldregistratie, de complete powerpointpresentatie van Swarte, rekensjablonen en -modules en gratis software. De DVD Masterclass Luidsprekers is een ideaal naslagwerk voor student, professional en hobbyist.

ISBN 978-90-5381-219-8 • € 24,95

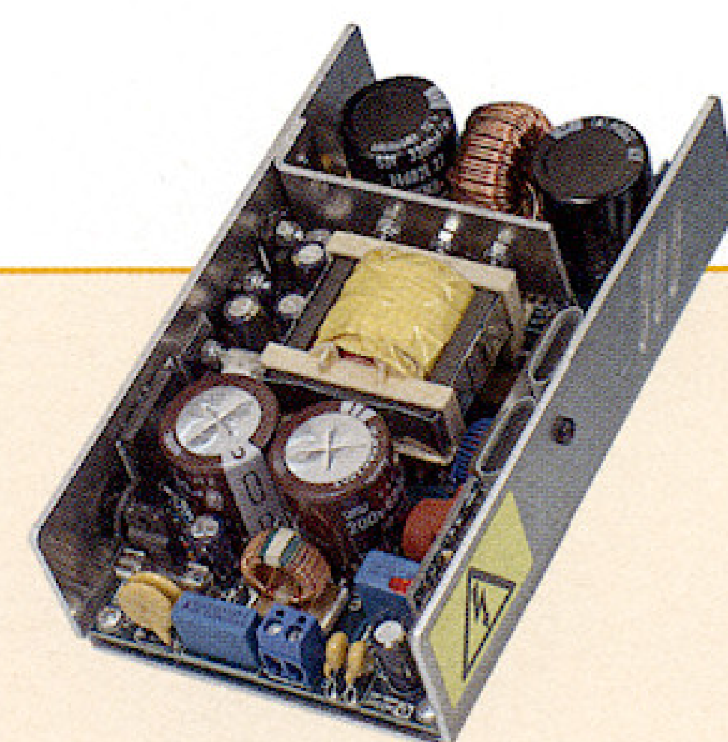
DVD-ROM

Bestel nu snel, eenvoudig en veilig via onze online shop:

www.elektor.nl

Elektor International Media BV
Postbus 11
6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46 - 43 89 444
Fax +31 (0)46 - 43 70 161
E-mail: verkoop@elektor.nl

elektor SHOP



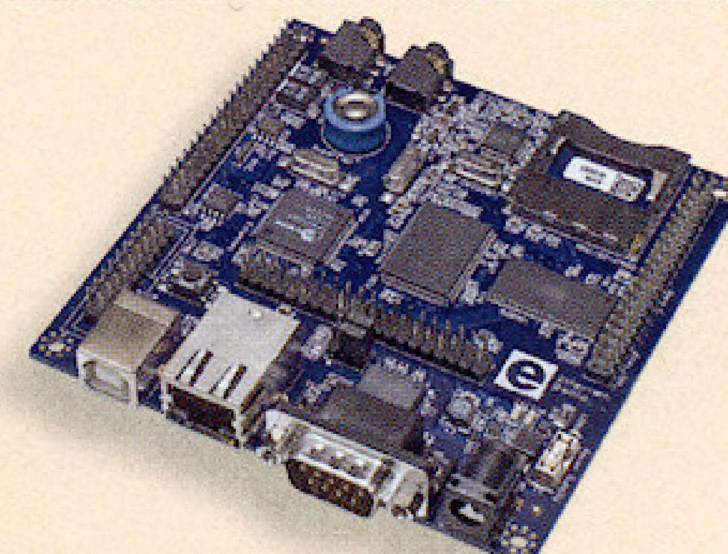
SAPS-400

(Elektor juni 2008)

Met de SAPS-400 bieden we een krachtige, regelbare symmetrische voeding die ideaal is voor klasse-A/AB- en moderne klasse-D-audioversterkers en genoegen neemt met minder dan een kwart van een vergelijkbare conventionele voeding. De voeding levert een instelbare symmetrische voedingsspanning van ±35 tot ±60 V met een continuvermogen van 400 W (ca. 800 W muziekvermogen) en een rendement van meer dan 92% bij ingangsspanningen van 100...120 of 200...240 V_{AC}. Hij is kortsluitvast en voorzien van een stroombegrenzing.

Opgebouwde en geteste print met aluminium U-profiel

Art-Nr. 070688-91 • € 199,00



Elektor Internet Radio

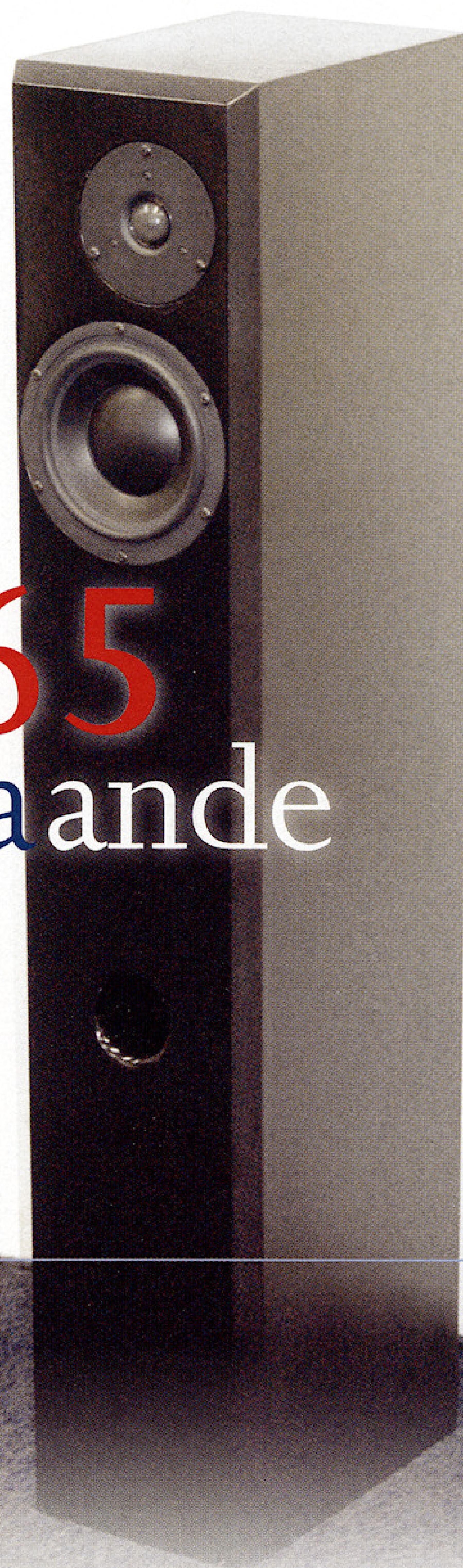
(Elektor april 2008)

Dat waren nog eens tijden, toen men geluid nog analoog op een hoogfrequent signaal moest moduleren, om het daarna te kunnen verzenden en ontvangen en er weer een min of meer hoorbaar signaal uit te kunnen distilleren. Vandaag de dag gaat dat anders. Het audiosignaal wordt gecomprimeerd, in IP-pakketjes verpakt, gestreamd, ontvangen, gebufferd, gedecomprimeerd en voilà: een radiostation kan over de hele wereld via internet ontvangen worden. Met state-of-the-art hardware is dat allemaal heel gemakkelijk: de Elektor Internet Radio.

Print met voorgem. SMD-componenten

Art-Nr. 071081-91 • € 169,00

Kits & Modules



Eltim CA-65
Tweeweg vloerstaande speaker

DOOR LOUIS TIMMERS

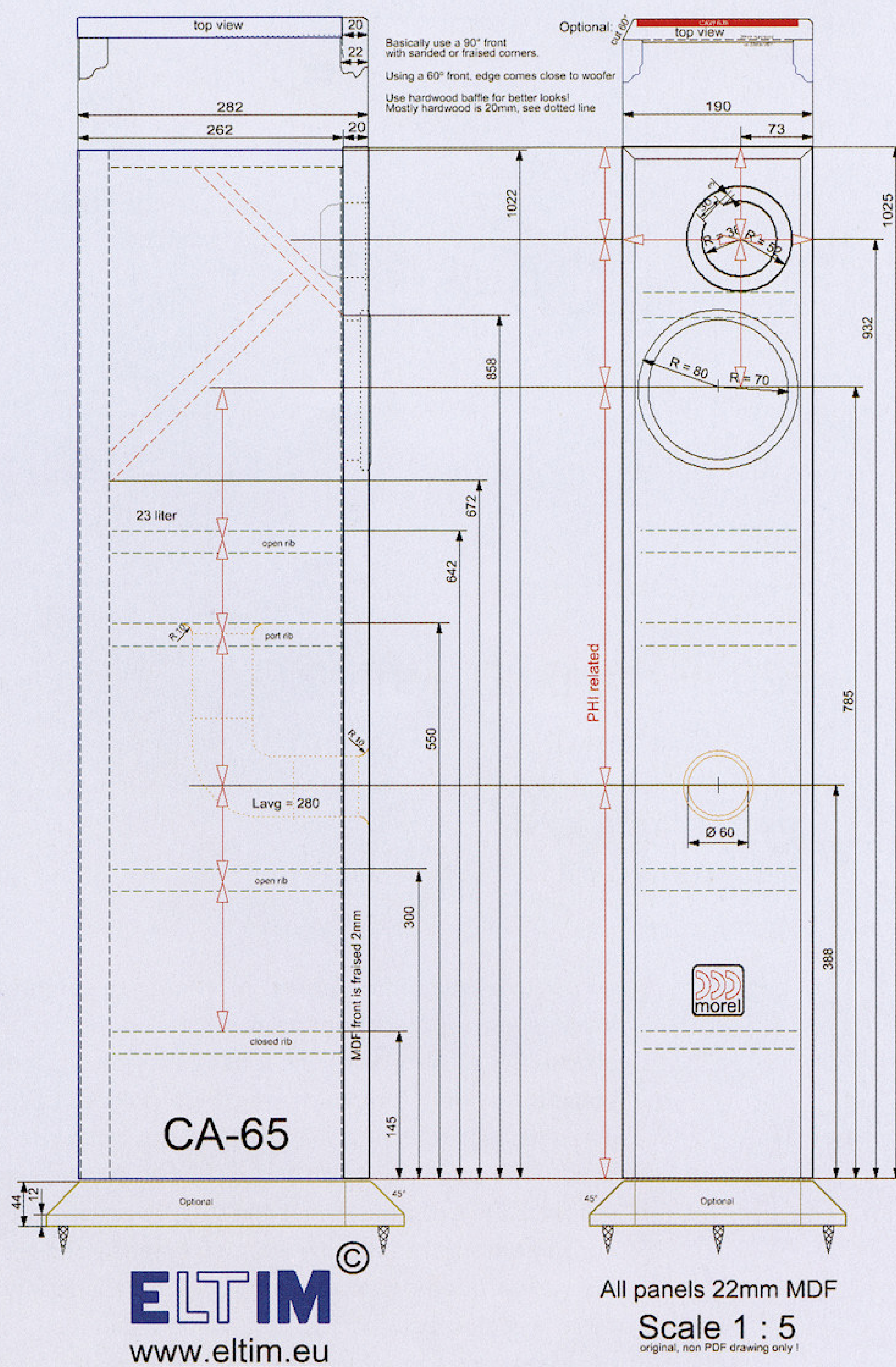
Recent werd het dertig jarig bestaan gevierd van Morel. Units van het eerste uur, zoals de befaamde MDT-33, MW-166, etc. bleken al die jaren stand te kunnen houden tegen de concurrentie. Ondanks dat gegeven besloot Morel dat er een geheel nieuwe lijn producten ontwikkeld moest worden. Importeur Eltim audio BV. ontwerpt momenteel een reeks nieuwe zelfbouw ontwerpen, gebaseerd op deze nieuwe units. De CA-65 is het eerste model met units uit de "Classic Advanced" serie, allen doorontwikkelingen van de al jaren bekende modellen. De woofers zijn nu o.a. uitgerust met een open gietaluminium chassis en de tweeters kregen een gewijzigd front waardoor de "off-axis" afstraling verder is verbeterd.

Met de komst van een reeks nieuwe units in het Morel programma kunnen er een veelvoud van moderne ontwerpen worden ontwikkeld. De constructie van het in het vorige Audio Special beschreven 1685a in combinatie met het unieke Twaron Angel Hair en toepassing van de "gulden snede" blijkt dermate goed te functioneren, dat besloten werd het principe ook in het hier gepresenteerde ontwerp toe te passen waarin twee nieuwe Morel units uit de "Classic Advanced" serie hun plaats vinden. Ditmaal is het ontwerp op alle vlakken wat groter uitgevallen, zowel voor wat betreft het formaat als de toegepaste woofer. De tweeter werd in een meer geaccepteerde plaats in de kast gemonteerd, met als gevolg dat de kast ook hoger diende te worden om een optimale afstraling te verkrijgen. Het is wereldwijd het eerste ontwerp waarin de pas ontwikkelde Morel units worden toegepast.

De units

Ditmaal wordt de splinternieuwe Morel woofer CAW 638 ingezet, de opvolger van de MW-166 en MW-168. Met het nieuwe gietaluminium chassis ademt de woofer veel beter dan de vorige modellen die het nog met





een geperst stalen chassis moesten doen. Vooral na inbouw bleek de ruimte tussen het stalen chassis en de baffle opening erg klein te worden. Het nieuwe Uniflow frame is dermate open, dat de anatomie van de unit blootgelegd is. De gigantische 75mm Hexatech spreekspoel met zeskantig aluminium draad is aan de buitenzijde zelfs zichtbaar vanwege hun EVC (External Voice Coil) principe. De ontwikkelde warmte kan op die wijze optimaal worden afgegeven aan de omgeving, temeer omdat er via gaatjes in de spreekspoel drager een extra luchtcirculatie wordt geforceerd. Net als bij alle andere nieuwe woofers zijn de parameters aangepast aan de huidige eisen en functioneren ze in moderne, compacte ontwerpen, gesloten dan wel basreflex. De CAW 638 is berekend op een netto gepoorte kastinhoud van ca. 23 liter, waaraan deze CA-65 voldoet. Overigens werkt de CAW-638 ook prima in een gesloten kast met een inhoud van ca. 9 liter.

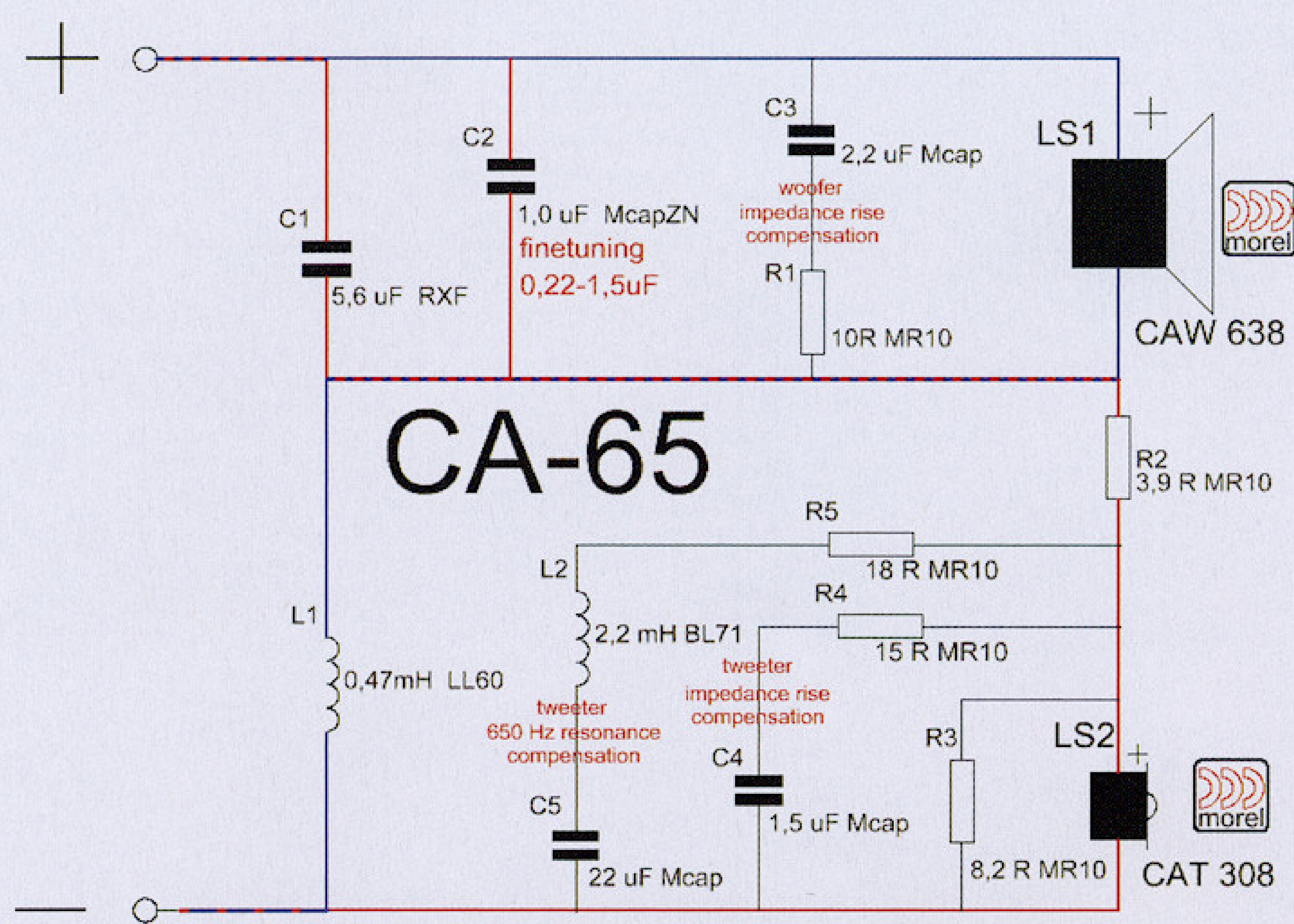
De tweeter CAT 308 is een doorontwikkeling van de MDT30s en MDT-32s, het meest verkochte model van Morel. Ook hier heeft de firma zich aan de moderne tijd aangepast en wordt dit nieuwe model in de industrie standaard afmeting van Ø 104mm gepresenteerd. Ook de opvolgers van de MDT-29 (CAT 298), MDT-33 (ET 338-104) en Supreme tweeter (ET1048) blijken nu in dit formaat leverbaar te zijn.

De CAT 308 tweeter is voorzien van een vergrote doorboorde poolkern, uitkomend in een optimaal gedempte kamer. Door de zijden, handgecoate 28 mm softdome, is dit goed te zien. Ook deze unit gebruikt een Hexatech aluminium spreekspoel. Opvallend is het frequentiegedrag, nl. "uit het boekje" zonder enige serieuze vorm van onregelmatigheid, ook niet buiten het werkgebied. Door het nieuwe front is de "off-axis" afstraling verbeterd t.o.v. de MDT30/32s.

De behuizing

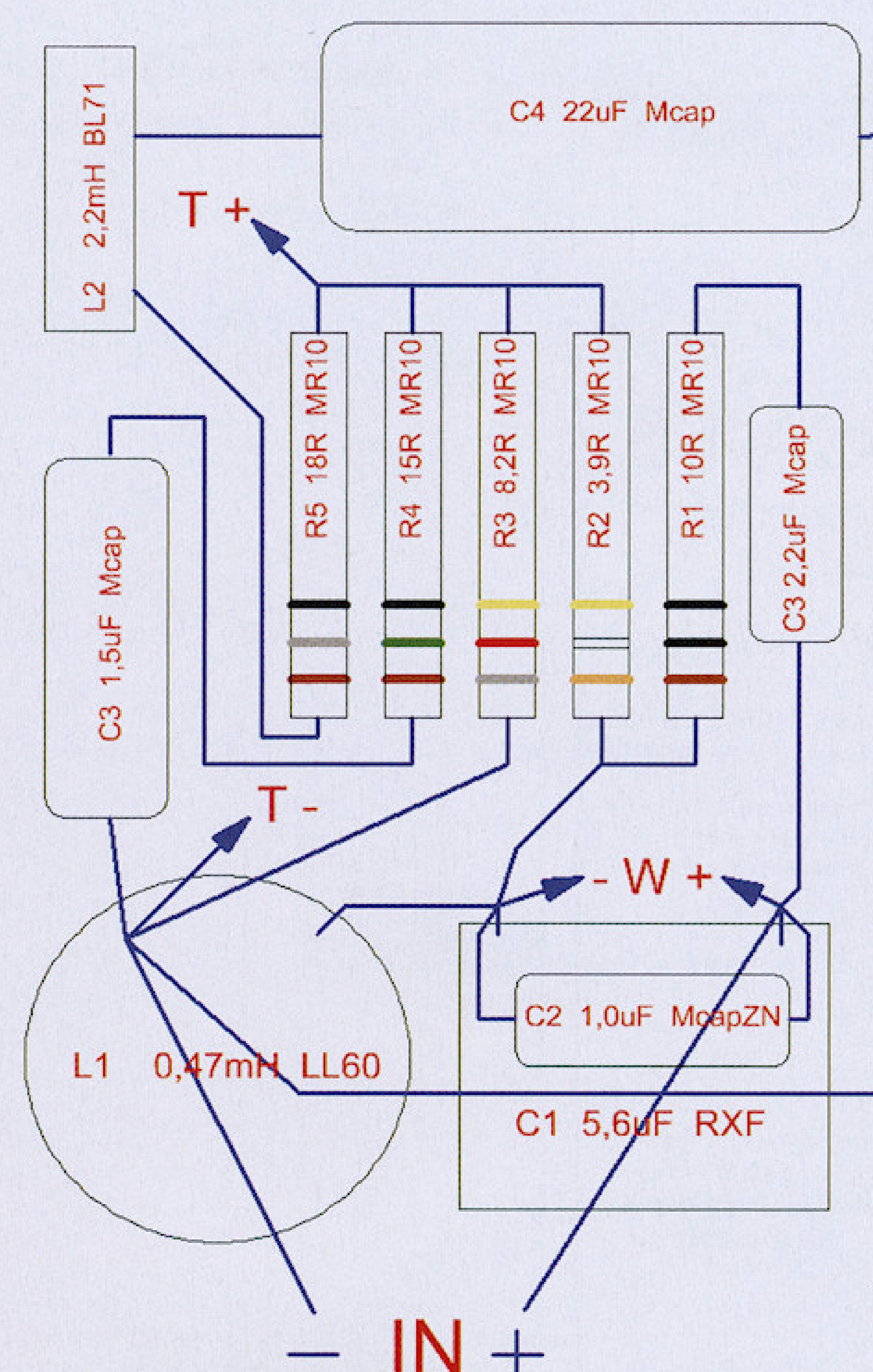
Vanwege het formaat en goede klankkwaliteiten van het prototype werd besloten dat gebruik van 22 mm MDF in het ontwerp gerechtvaardigd zou zijn. Met een breedte van 19 cm en een hoogte van 102,5 cm is het ontwerp nog acceptabel te plaatsen. Ook in dit ontwerp wordt de "gulden snede" veelvuldig toegepast, bv. in de onderlinge afstanden van de units en de poort, de afstanden tussen en de afmetingen van de ribben, etc.

Middels een onder 45° geplaatst paneel achter de woofer wordt de geluidsdruk in verticale richting geforceerd



3200Hz 6/6 dB serial XO

ELTIM©



en optimaal gedempt. Om het monteren te vergemakkelijken en ter voorkoming dat panelen op onjuiste plaatsen gezet worden kunt u het beste de zijpanelen volgens tekening 2 mm uitfrezen. Het haaks en correct verlijmen wordt zo ook veel eenvoudiger, omdat de ribben blijven staan terwijl de andere ribben worden ingeschoven. De extra tijd die dit freeswerk vergt wordt tijdens het monteren teruggewonnen en een goed resultaat gewaarborgd. Tegenwoordig heeft bijna iedere hobbyist wel een bovenfrees, dus zal dit niet echt een probleem zijn. Eltim zal de houtpakketten op deze wijze leveren; u kunt het nagenoeg zonder gereedschap in elkaar lijmen.

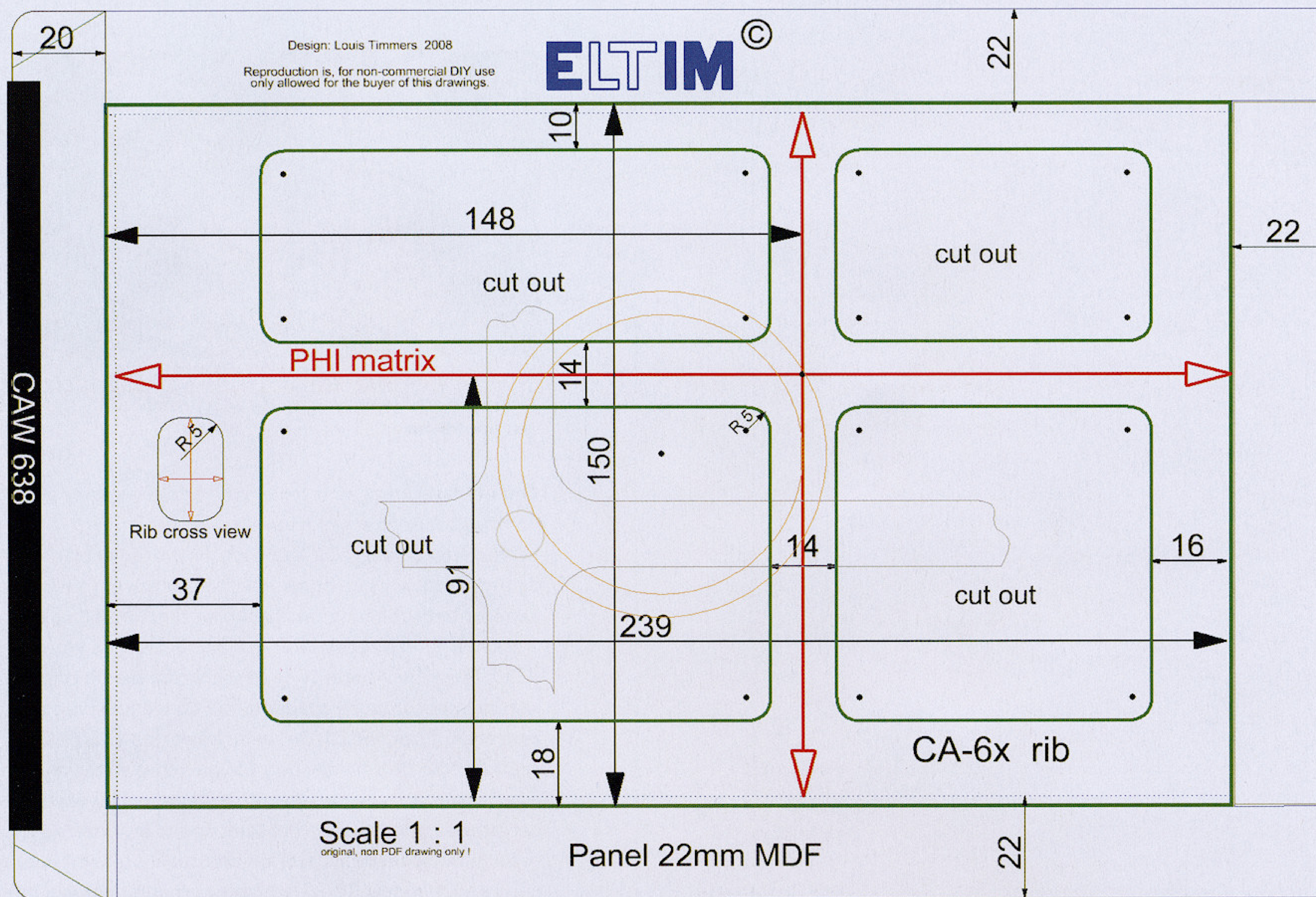
De bovenkant is een "hoed", een paneel met dunne randen, die nadat de voor- en zijkanten verlijmd zijn, in de bovenkant past. De dunne randen bedekken de koppen van de zijpanelen en achterpaneel en na wegschuren van overtollig materiaal is er een naadloze afwerking, klaar voor het spuitwerk. Let op: het front zit voor dit paneel en is daarom 3 mm hoger dan de zijpanelen!

Hardhouten panelen zijn meestal 20 mm dik. In dat geval hoeft u het front niet in te frezen en kunt u het direct aan de voorzijde monteren. De randen met een frees afronden of onder een hoek van 60° afschuinen. Wees hierbij erg voorzichtig, want de woofer randen zijn dan slechts enkele millimeters van de kastrand verwijderd. Vind u het te smal worden, dan kunt u de achterzijde van het frontpaneel iets dieper uitfrezen, wat resulteert in een breder front. Indien u twijfelt of het u ook lukt, eerst even een proefstuk maken.

De poort bestaat uit twee stukken Ø60mm PVC buis en een 90° kniestuk. Montage gaat het beste door de in elkaar gestoken stukken tegelijk met de rib waarin de pijp past in de kast te schuiven nadat alle andere ribben al verlijmd zijn. Dan de afmetingen van de pijpstukken afmeten en afzagen. Vervolgens de pijp verlijmen met PE-lijm in de rib. Na droging de combinatie weer uit de kast trekken en de pijpopening in de rib afronden met een frees met koplager. Daarna het geheel verlijmen in de kast en na uitharding ook de voorzijde rondfrezen voor een fraai resultaat.







De demping

Na veelvuldig ervaring opgedaan te hebben met alle denkbare soorten demping, die allen één of andere eigenaardigheid vertonen, is besloten nagenoeg uitsluitend Twaron Angel Hair te gebruiken. Het is weliswaar duurder dan de meeste andere materialen, maar door de relatief kleine benodigde massa in combinatie met de klankwinst is dit gerechtvaardigd. Ook nu weer bleek er tijdens het tunen steeds teveel te worden gebruikt en kwamen we op 10 gram achter de woofer en 15 gram in het poortcompartiment. De in de tekening aangegeven massa's zijn indicatief en naar oordeel van de ontwerper optimaal. Wilt u er mee experimenteren, schroef of klem dan voorlopig de achterzijde tegen de kast.

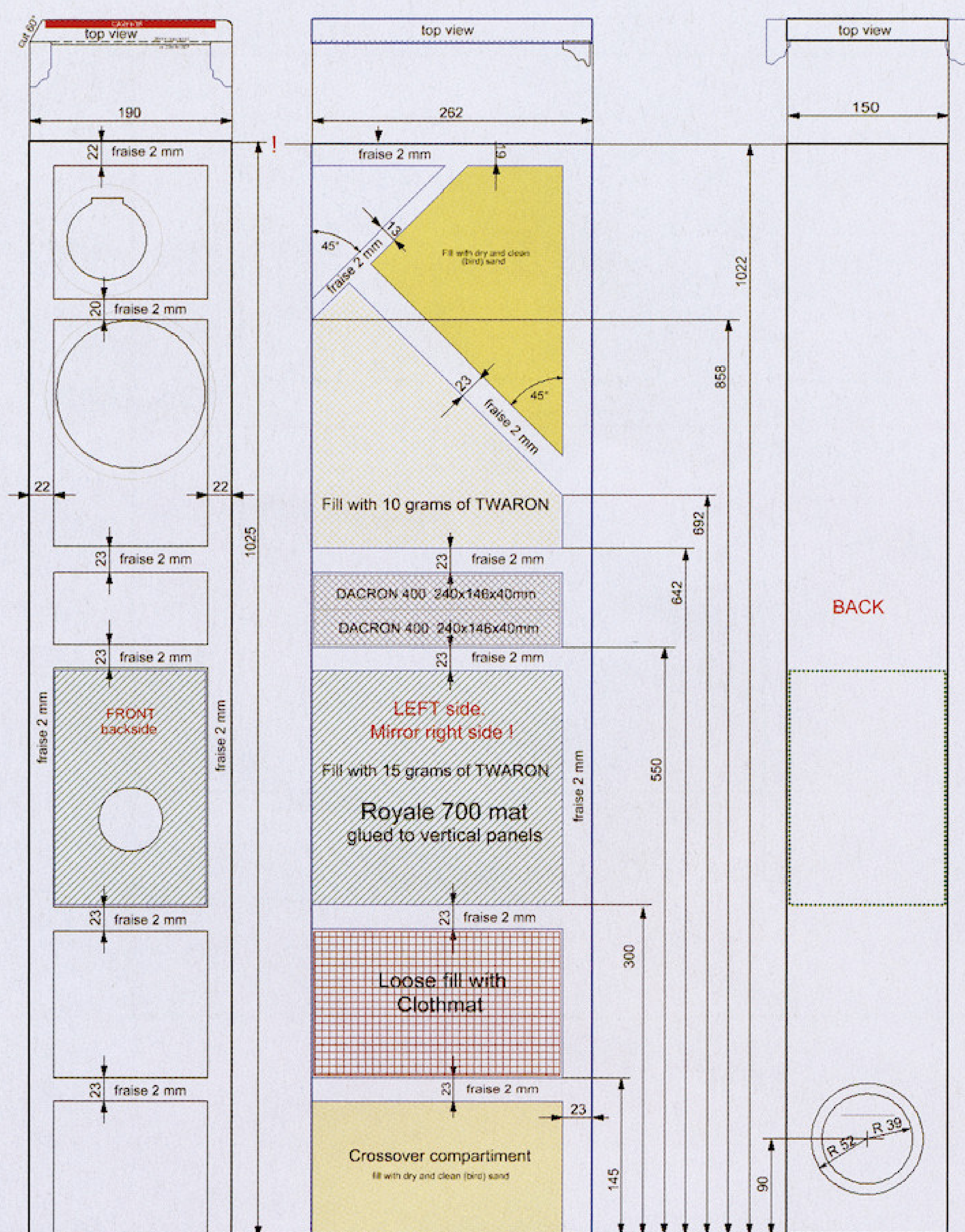
Twaron Angel Hair bestaat uit flinterdunne draden, die door een proces tot een vervormbare, veerkrachtige massa wordt bewerkt. Op de foto is een mensenhaar te zien met daarachter wat TWARON haar. Het is dus zoals de foto toont een zeer open massa materiaal, wat resulteert in unieke eigenschappen. Vergeleken met bv. de bekende witte watten is de toename van weergave van zeer zachte signalen en de ruimtelijkheid van de opname opvallend. Men is meer "aanwezig". Vergelijk het effect maar met de ruisvloer van een radio ontvanger, waar signalen kleiner dan de eigen ruis niet meer hoorbaar zijn. Door het materiaal losser of dichter te vullen, kan men de effecten naar smaak aanpassen. Vanwege de elasticiteit vult het de ruimte geheel en blijft het op z'n plaats.

De wanden rondom de basreflexpijp (2 stukken 60mm PVC en 90° bocht) worden met Royale700 beplakt, een rubberachtige massa met ruwe oppervlakte. Het onderste compartiment bijna volledig vullen met "Clothmat", gemaakt van gerecyclde kleding. Alle overige panelen worden met Transitsound Ultra bekleed. Deze eigenaardige, minimale demping met nieuwe materialen maakt de kast volledig "dood" met behoud van snelheid en detail. Al deze nieuwe materialen zijn via Eltim leverbaar en worden als pakket geleverd.

De ruimte boven het schuine woofer paneel kunt u met fijn, droog zand vullen om het "rocken" tegen te gaan. Dit bevordert de weergave van de plaatsing van stemmen en instrumenten, zoals ook bij toepassing van spikes gebeurt. Deze kunt u uiteraard altijd toepassen. De kleine ruimte achter de tweeter zou u kunnen gebruiken voor plaatsing van de filtercomponenten, maar daarvoor is ook onderin de kast ruimte vrij gehouden.

Het filter

De ontwerper is van mening dat in combinatie met Morel units de meest eenvoudige filters de beste resultaten geven. Na toch eens met hogere orde filters geëxperimenteerd te hebben, wordt in dit ontwerp vanwege een fraaiere afstraling en betere impulsweergave hier weer slechts een 6/6dB (L1, resp. C1+C2) filter toegepast rond 3200Hz. Door dit punt te kiezen wordt niet alleen het volledige spraakbereik door de woofer weergegeven, maar wordt tevens optimaal gebruik gemaakt



In order to change damping material and sand, leave out backpanel and use tape, screws or rubber bands to hold it during testing.

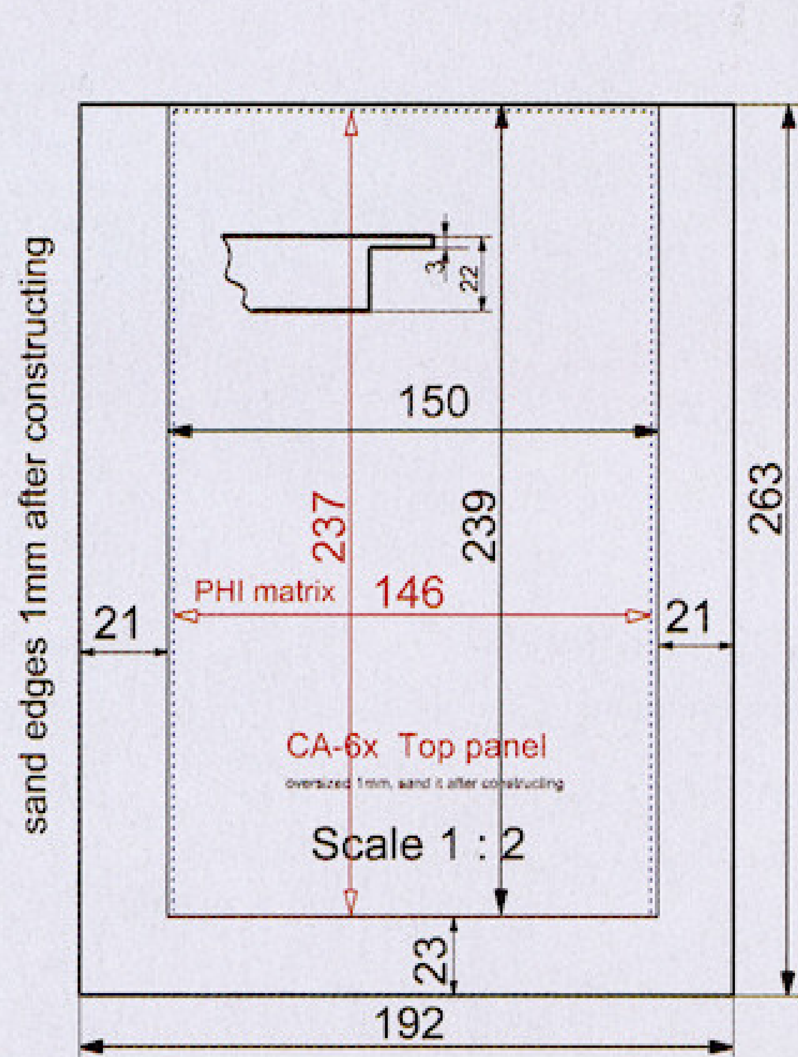
All panels 22mm
Tweeter backpanel 12mm

Scale 1 : 5
original, non PDF drawing only !

CA-65
www.eltim.eu

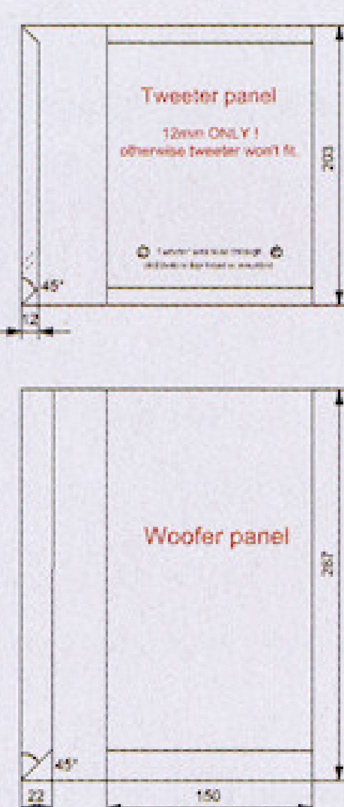
Design: Louis Timmers 2008
Reproduction is, for non-commercial DIY use only allowed for the buyer of this drawings.

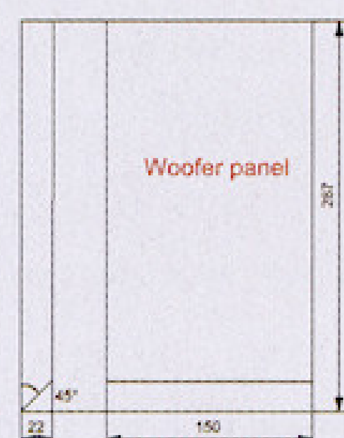
ELTIM©



Design: Louis Timmers 2008
Reproduction is, for non-commercial DIY use only allowed for the buyer of this drawings.

ELTIM©





Scale 1 : 5

CA-65

van de natuurlijke afval van beide units. Terwijl er een minimale fasevervorming en tijdvertraging veroorzaakt wordt, immers kenmerkend voor een 6dB filter, wordt er zo toch een ca. 12/12dB akoestisch resultaat gehaald. De woofer wordt iets vroeger afgefilterd om het enige piekje rond 3,5 kHz te compenseren.

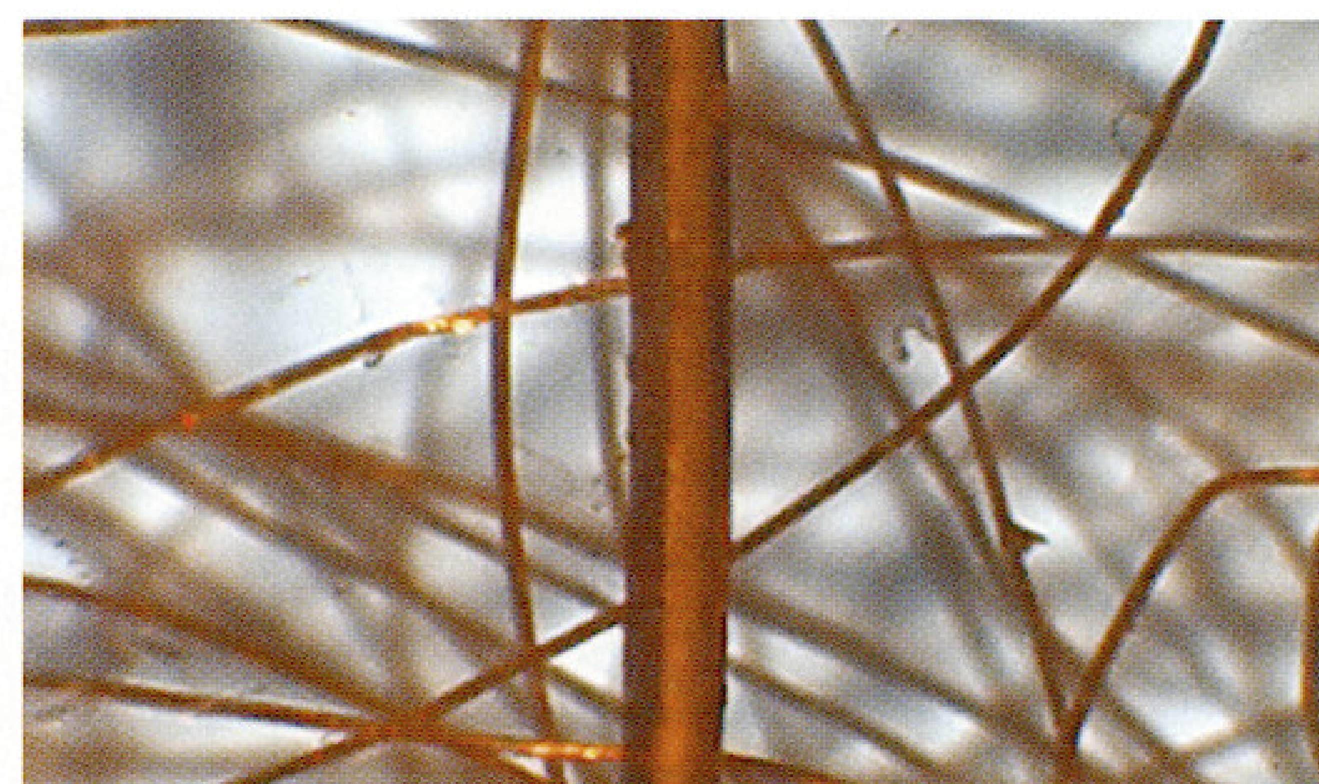


Foto: Twaron Angel Hair
Twaron Angel Hair met op de voorgrond een hoofdhaar

Om het fasegedrag nog verder te verbeteren is er zelfs voor een seriefilter gekozen.
Willen we een dergelijk filter optimaal laten presteren, dan moeten we het ohms belasten, oftewel moet de impedantie frequentie onafhankelijk zijn. Om dit te bewerkstelligen zijn er netwerkjes parallel aan de woofer (C3/R1) en de tweeter (R4/C4) geplaatst die de stijging van de impedantie bij toename van de frequentie compenseren. Daarnaast is er een netwerkje (R5/L2/C5) geplaatst die de stijging rond 650Hz ten gunste van de eigen resonantie van de tweeter compenseert. Vanwege de grote afstand tussen het kantelpunt en deze eigen resonantie zou u dit netwerkje eventueel ook weg kunnen laten. Middels R2/R3 wordt het rendement van de tweeter gereduceerd tot het niveau van de woofer.

De resultaten

Het ontwerp lijkt op het eerste gezicht een vrij standaard zelfbouwontwerp. Echter maakt de combinatie van de units, het eerste orde seriefilter, het dempingmateriaal en veelvuldige toepassing van de "gulden snede" het tot een interessant en fraai gebalanceerd klinkend ontwerp.
Het klankbeeld is homogeen en geeft de typische "rust" die je vaker opvalt bij het luisteren naar ontwerpen waarin Morel wordt toegepast. Ook valt de fraaie, diepe laag weergave op.
Stemmen en instrumenten klinken in balans en ook bekkens, etc. klinken (zingen) zoals het hoort.
Ademhalen, het hout van de drumstokken, de ruimtelijke klank bij live registraties, etc. is ook probleemloos waarneembaar.

Het nieuwe chassis blijkt ook een uitbreiding aan de onderkant van de frequentiekarakteristiek te veroorzaken, want alle modellen die de ontwerper tot nu toe in handen heeft gehad blijken dieper door te lopen dan hun voorgangers met het kenmerkende stalen chassis. De tweeter laat de boventonen zijdezacht horen; er is geen vleug van scherpte waar te nemen. Vooral kleine metalen instrumenten, zoals triangel gaan nogal eens in de fout, maar worden nu feilloos en correct weergegeven.

Het houtpakket is door de uitgefreesde panelen eenvoudig en bijna zonder gereedschap te verlijmen. U kunt zelfs een al in elkaar gezette en geschuurde kast bestellen.

Bouwkosten:

Alle benodigde onderdelen, hout, demping, etc.	ca. 295,00 euro
Units met dempingmaterialen en bouwbeschrijving	199,00 euro
Units met bewerkte kastdelen, dempingmaterialen en bouwbeschrijving	289,00 euro
Units, geassembleerd en geschuurd houtpakket en instructies	349,00 euro
Mundorf filteronderdelen en terminal volgens stuklijst	75,00 euro
Kompleet gebouwd, getest en afgewerkt in RAL kleur	799,00 euro

Website: http://www.eltim.eu

CA-65 stuklijst

Drive units:
LS1 = MOREL CAW 638
LS2 = MOREL CAT 308

Filtercomponenten:
L1 = 0,47 mH LL60
L2 = 2,2 mH BL71
C1 = 5,6 uF RxF
C2 = 1,0 uF McapZN
C3 = 2,2 uF Mcap
C4 = 1,5 uF Mcap
C5 = 22 uF Mcap
R1 = 10R MR10
R2 = 3,9R MR10
R3 = 8,2R MR10
R4 = 15R MR10
R5 = 18R MR10
T1 = Terminal term105

Panelen:

Front	1025x190x22 mm	
Zij	1022x262x22 mm	2x
Achter	1022x150x22 mm	
Top	263x192x22 mm	
Ribben	239x150x22 mm	4x
Panel1	287x150x22 mm	
Panel2	203x150x12 mm	

Demping:

Twaron	25 gram	
Dacron 400	239x146x4 mm	2x
Clothmat	80x146x10 mm	3x
Royale700	230x220x7 mm	2x
Royale700	230x145x7 mm	2x
Transitsound	1000x240x3 mm	

Ga voor Goud

High-End voor bij de PC monitor

DOOR HENKJAN OLTHUIS

Op de veel buro's staat tegenwoordig een mooie breedbeeld LCD monitor van minstens 19" met een resolutie waar een HD TV jaloers op zou zijn. Ernaast staan dan in de regel een paar plastic doosjes die de naam luidspreker amper waardig zijn. Het hier gepresenteerde ontwerp zorgt ervoor dat niet alleen het oog, maar ook het oor niets tekort komt.

Een desktop luidspreker

Een luidspreker die naast het computerscherm staat legt een aantal extra eisen neer bij de ontwerper, maar biedt ook extra kansen, die een doorsnee luidspreker, zoals gebruikt in de woonkamer, niet heeft. Om met de extra kansen te beginnen: doordat de luisterafstand kleiner is, kan er voor kleinere drivers gekozen worden, zodat ook het benodigde kastvolume kleiner blijft. Extra eisen zijn er ook met LCD schermen nog steeds, maar magnetische afscherming is er geen van. Wel is de beschikbare diepte van de kast wat beperkter dan wat die met een CRT beeldscherm zou zijn geweest. Voor het akoestische ontwerp is dat echter geen probleem, belangrijker is dat de luisterpositie op een kleine afstand van de luidspreker voor wat extra problemen kan zorgen, een kleine vertikale verplaatsing van het hoofd leidt tot een groot verschil in de hoek t.o.v. de as van de luidspreker. Hier zal in het ontwerp dus rekening mee gehouden moeten worden.

Keuze van de driver

De in de vorge paragraaf genoemde eisen en kansen die een desktop luidspreker biedt, hebben een doorslaggevende invloed op de keuze van de driver. De verschillen in luisterhoek, zowel vertikaal als horizontaal, die een andere zitpositie met zich meebrengt, vragen eigenlijk om een driver die de ideale puntbron zeer dicht benadert, want dan heeft een andere luisterhoek een minimale invloed op het frequentieverloop. Een luidspreker die traditioneel is opgebouwd uit meerdere drivers zal pieken en dalen gaan vertonen in de frequentie-

grootheid	waarde
Fs	125 Hz
Re	4.0 Ω
Sd	27.3 cm²
Vas	1.1 litres
Mms	1,53 g
BL	2,17 TM
Qms	2,13
Qes	1,08
Qts	0,716
Le	55,17 µH
SPL (1W, @1m)	84,5 dB
X-max (1 way)	2,5 mm



Tabel 1
Thiele/Small parameters van de Markaudio Alpair5 koper/goud

karakteristiek als gevolg van de verschillende afstanden die het geluid moet afleggen van de verschillende drivers naar het oor. De ideale puntbron wordt door twee types drivers het beste benadert: een breedbander en een coaxiaal. Beide types hebben zo hun eigen voors en tegens. Omdat de driver in de desktop speaker klein kon blijven, is er gekozen om een ontwerp met een breedbander te maken. Een kleine breedband driver doet zowel qua hoogweergave als qua spreiding van het geluid niet onder voor de meeste meerwegsystemen, maar biedt nog steeds de onovertroffen ruimtelijkheid die alleen een breedbander zo kan bieden.

Voor dit ontwerp is er gekozen voor een hoogwaardige breedbander: de Alpair5 van de nieuwe fabrikant Markaudio in de koper/gouden uitvoering. Dit is een 2" breedbander die een zeer verfijnde en gedetailleerde hoogweergave biedt, zelfs beter dan menig tweeter dat kan. Het kleine formaat van de driver zorgt ervoor dat de bundeling in het hoog, wat bij de geringe luisterafstand een probleem had kunnen zijn, beperkt blijft.

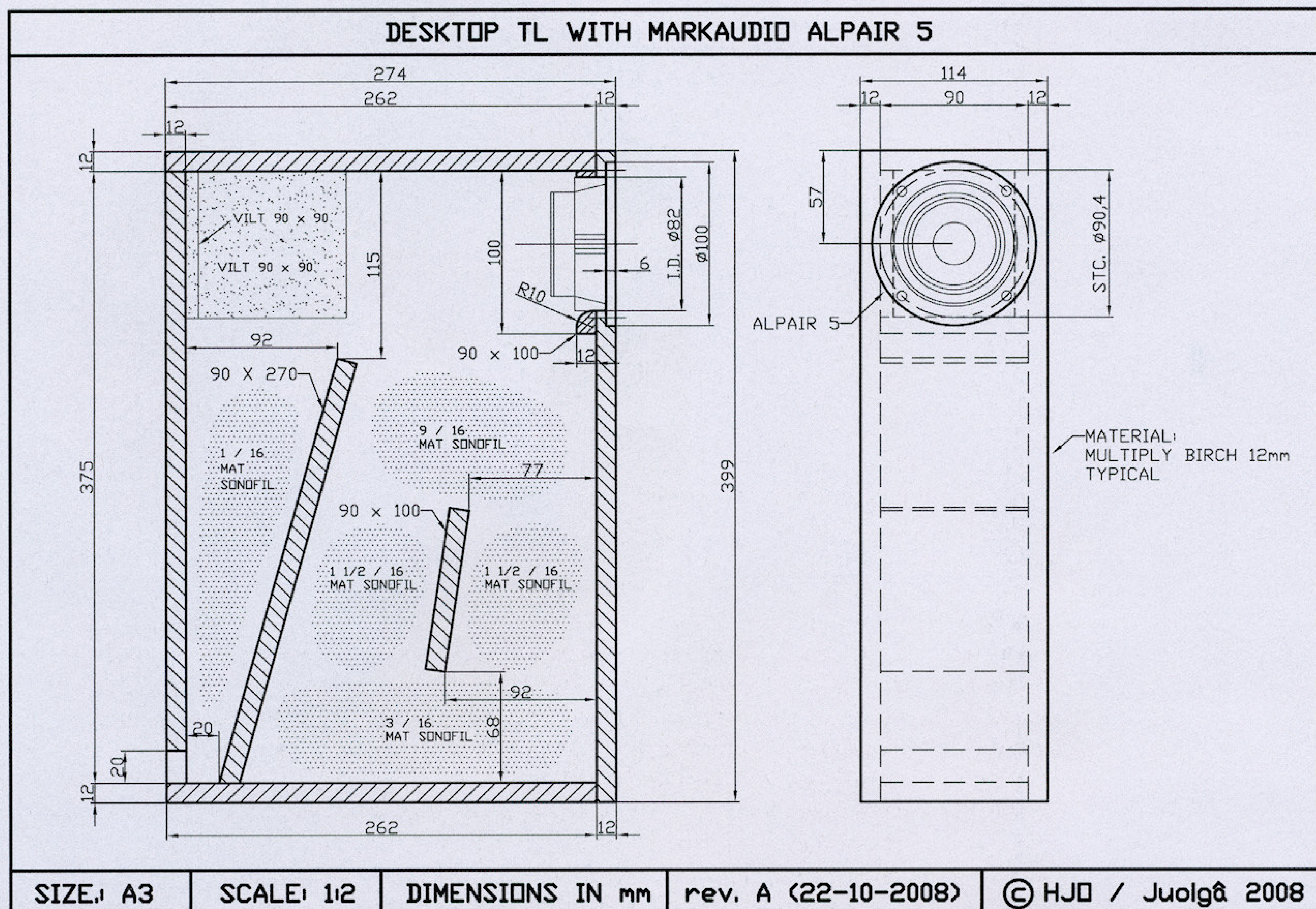
De kast

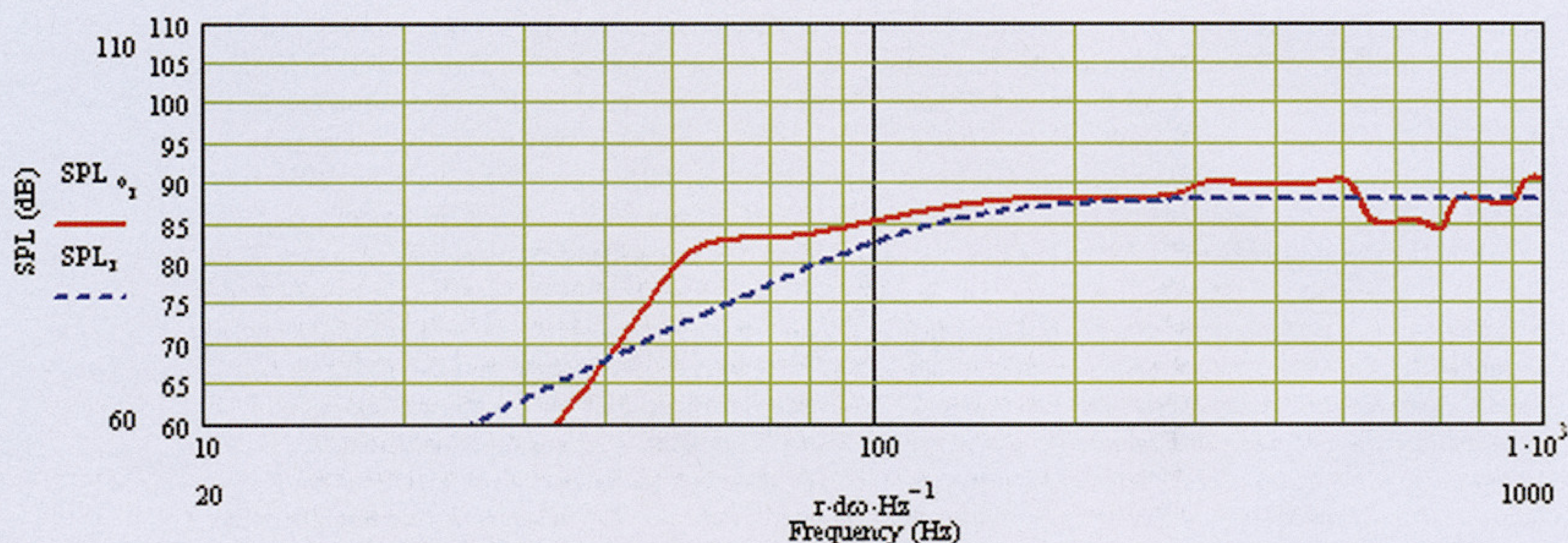
Voor de afstraling en de lage tonen weergave is de kastvorm van groot belang. Om de afstraling optimaal te krijgen is er voor gekozen de kast zo smal mogelijk te maken, de doorsnede van de driver is hierbij dus bepalend geweest. Juist omdat er met een kleine driver wordt gewerkt, is de kastvorm extra belangrijk om een goede laagweergave te verkrijgen. De meest eenvoudige kast is een gesloten volume, deze zal met de Alpair5 echter geen voldoende diepe laagweergave opleveren. Voor een andere vaak toegepaste kast, de bassreflex behuizing, is de Alpair5 minder geschikt. Echter voor een driver met de parameters van de Alpair5 is een transmissielijn (ook wel TL genoemd) wellicht nog de beste behuizing en biedt de beste laagweergave.

Een TL is bij uitstek geschikt om uit een kleine driver toch nog een fatsoenlijk laag te halen, meer zelfs dan wat verwacht zou mogen worden aan de hand van het formaat van de driver en de kast. Het bekendste voorbeeld hiervan is waarschijnlijk wel de Needle luidspreker die in de Elektor Audio Special van 2006 is gepresenteerd, die presteert het om met een 8 cm breedbander vrijwel het hele muziekspectrum goed weer te geven.

Met een goed ontworpen TL is een laagweergave mogelijk die een volle octaaf lager gaat dan de eigenresonatie van de driver. Het ontwerpen van een goed klinkende TL heeft wat meer voeten in de aarde dan een BR of gesloten kast. Er zijn bij een TL immers veel meer vrijheidsgraden: de lengte van de lijn, de doorsnede van de lijn (die variabel kan zijn over de lengte gezien), de plaats van de driver, de hoeveelheid en plaats van de het dempingsmateriaal, etc. Gelukkig is er de laatste jaren veel voortgang geboekt op het gebied van het theoretisch beschrijven van een TL (het bekendste voorbeeld is de website van M.J. King) zodat ook hier het ontwerpproces geholpen kan worden door gebruik te maken van afstemmingstabellen en simulaties, zoals dit bij bassreflex kasten al vele jaren het geval is.

Voor dit ontwerp is gekozen voor een sterk tapse uitvoering van de lijn, met de driver op ongeveer a van de lengte van de lijn. Door de demping te concentreren in het gesloten deel van de lijn is het gelukt om de frequentieweergave van het complete systeem mooi vlak te laten verlopen; vlak voor de poort is nog een geringe





Figuur 1
Bouwtekening van de luidspreker

Figuur 2
De simulatie van de laagweergave, rood is de respons van het systeem, de blauwe stippellijn is ter referentie de curve van de driver in een oneindig klankbord

hoeveelheid demping geplaatst om de output van de poort op het juiste niveau te brengen. De getoonde curve is het resultaat van een gedetailleerde simulatie van het hier gepresenteerde ontwerp, inclusief de plaats en hoeveelheid van de demping.

Het dempingsmateriaal dat gebruikt is is gewoon BAF (bijvoorbeeld zoals verkocht onder de merknaam Sonofil) voor de volumedemping, maar een gelijkwaardige alternatief als langharige wol kan ook gebruikt worden. De wanddemping die op de achterwand en zijwand geplaatst is, is een dikke laag (~8 mm) vilt (hier kan ook dik ondertapijt voor gebruikt worden, als dikke vilt niet verkrijgbaar is).

In de bouwtekening is de opbouw van de luidspreker te zien. Het ontwerp is zo opgezet dat de opbouw ook voor de beginnende houtbewerker goed te doen is, het belangrijkste advies is om de kast eerst zonder lijm in elkaar te zetten om te kijken of alle onderdelen passen. Het goed op maat zagen van de planken is mogelijk nog het lastigste, als men zelf niet over een goede zaagtafel beschikt kan dit bij de lokale bouwmarkt gedaan worden. Als constructiemateriaal is 12 mm dik berkenmultiplex gekozen, omdat dit zowel akoestisch als optisch een goed resultaat garandeert (als alternatief is een andere goede kwaliteit multiplex, of eventueel MDF, van gelijke dikte mogelijk). Voor de opbouw is geen bijzonder gereedschap nodig, lijmklemmen, een boormachine,

eventueel een decoupeer- of figuurzaag, een soldeerbout, en een schroevendraaier volstaan voor de montage.

Voor de afwerking is hier gekozen voor een eenvoudige blanke lak, in combinatie met een geringe afronding van de hoeken van de kast waardoor de tekening van het multiplex mooi uitkomt en het slanke design extra benadrukt. Afwerking met fineer, folie, behang, stof of in een kleurlak is uiteraard ook mogelijk, en de keuze hiervoor kan volledig naar eigen smaak (of die van de partner) worden gedaan.

Ruwe diamant of geslepen?

De Alpair5 speaker heeft van nature een oplopend hoog, met name in de bovenste octaaf van het geluidspectrum. Dat is goed te zien in de meting van de luidspreker zoals afgebeeld. De oranje curve laat de meting zien van de Alpair5 in de kast recht voor de luidspreker. Deze frequentiekarakteristiek is bewust door Markaudio in het ontwerp gebracht om de detaillering en helderheid van de hoogweergave te maximaliseren.

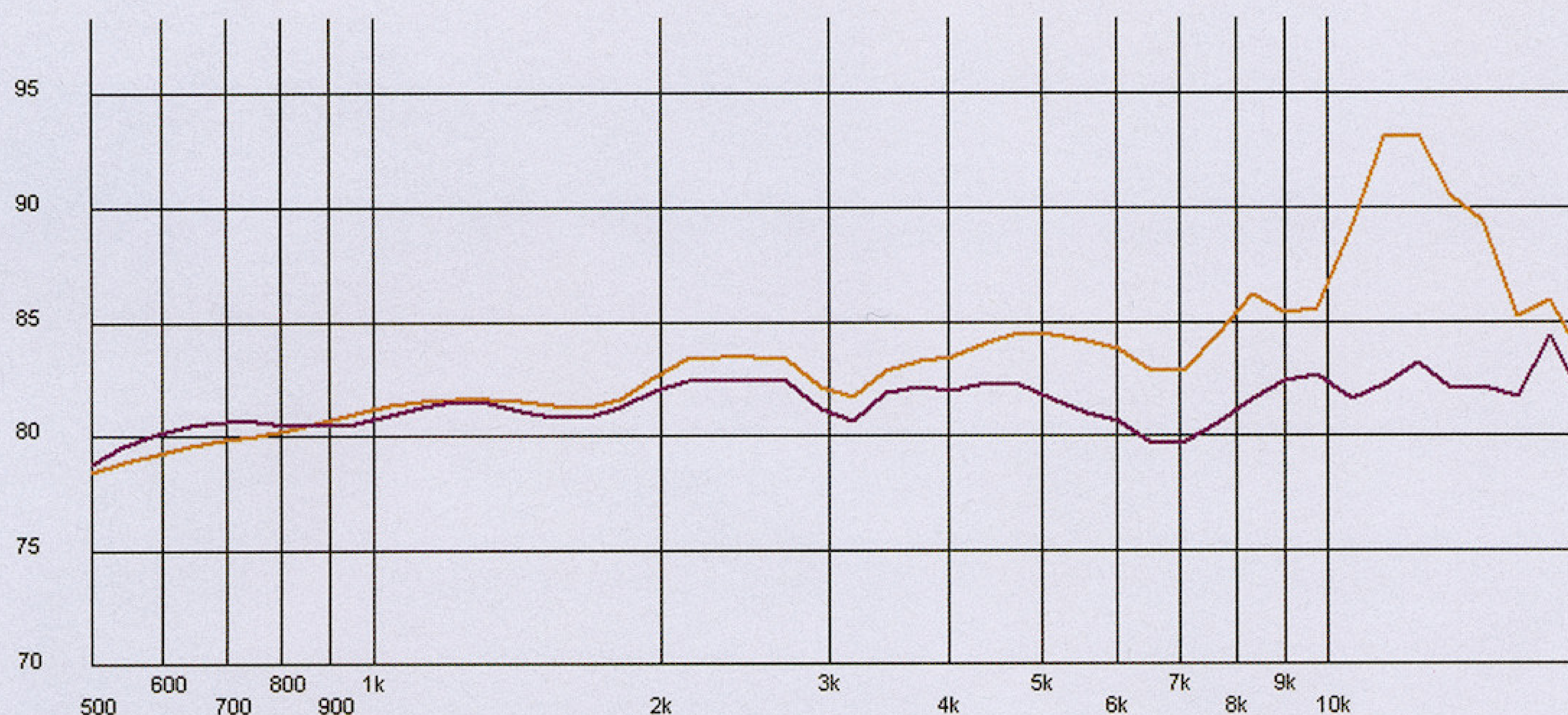
Over het algemeen wordt er bij het ontwerpen van een luidspreker systeem naar gestreefd om de frequentiecurve zo vlak mogelijk te krijgen, in sommige handboeken wordt het zelfs zo gesteld dat dit de voorwaarde is om een luidspreker het predikaat high quality mee te mogen geven. Nu is het niet moeilijk om met een 3-tal componenten de frequentiecurve vlak te krijgen tot binnen een enkele dB. Velen zijn echter van mening dat door de toevoeging van deze componenten de homogeniteit, de magie, van de breedbander verloren gaat. Om naar een breedbander puur te luisteren zonder dat er een enkel component in de signaalweg aanwezig is, neemt een grote groep liefhebbers het voor lief dat de frequentiecurve niet optimaal vlak is, en dat daardoor de het luidspreker systeem een eigen klank heeft.

Het hier voorgestelde systeem heeft dankzij de uitgekiende combinatie van de driver en de kast een over vrijwel het hele frequentiegebied vlakke respons, op het hoogste octaaf na. Het heeft dankzij de oplopende curve

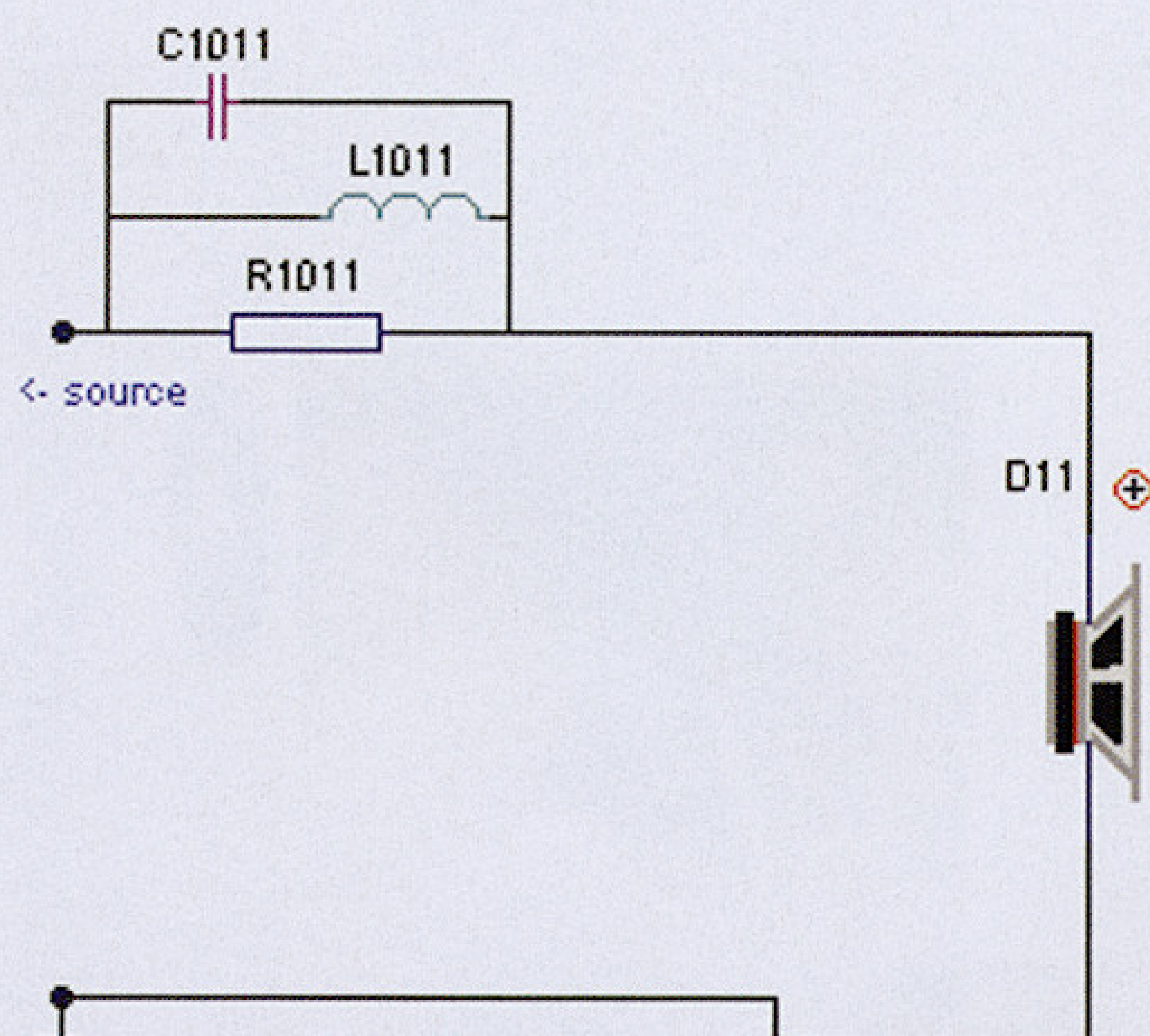


in de hoogste octaaf wel een eigen karakter, met extra nadruk op de detailrijkheid en helderheid van het hoog. Dit heeft tevens het voordeel dat als er off-axis geluisterd wordt (waardoor het direct op de luisteraar afgestraalde geluid minder hoog zal bevatten) dat de totale hoeveelheid in de luisterruimte afgestraalde energie in het hoge tonen gebied beter verdeeld is.

Zoals hierboven al aangegeven is het vrij makkelijk om met een eenvoudige schakeling van 3 passieve componenten de frequentiecurve vlak te krijgen. Dit doen we met een zogenaamde sperkring, ook wel RCL kring genoemd. In het filterschema zien we drie componenten, een weerstand van 27 Ω, een condensator van 3.30 µF, en een spoel van 0.05 mH die onderling parallel geschakeld zijn en gezamenlijk in serie met de driver zijn geschakeld. De hoge kwaliteit van de driver nodigt



Figuur 3
De gemeten frequentierespons, oranje is ongefilterd, paars is met filter en onder 15 graden



Figuur 4
Het filterschema dat gebruikt kan worden om de frequentiecurve glad te strijken

hier wel uit om voor het filter ook topkwaliteit componenten in te zetten, zoals een waxcoil bandspoel van Janzen en een Clarity SA condensator. Doordat de gebruikte waarden vrij klein zijn, valt de aanval op het budget van deze high-end componenten gelukkig wel mee. Met dit filter is de frequentie response van het systeem vlak te noemen binnen ±1 dB tussen 600 Hz en 20 kHz, gemeten onder een hoek van 15 graden. Met het filter is de klankkleur van het systeem veel neutraler geworden, meer uitgebalanceerd. De detaillering en helderheid van het hoog zijn nog wel aanwezig, alleen minder nadrukkelijk.

Welke van de twee mogelijkheden, met of zonder filter, men het beste kan kiezen is een kwestie van persoonlijke smaak. Daar waar de ene persoon het zonder filter te schel of te hard zal vinden, zal de ander het systeem met filter juist te mat en onpersoonlijk vinden. Laat uw eigen oren beslissen.

Luisteren

Met de luidsprekers niet te ver van elkaar en de luisterassen niet direct op de luisteraar gericht beginnen we de luistersessie. Direct valt de enorme gedetailleerdheid van het hoog op, ongeëvenaard voor een breedbander! Het tweeweg systeem dat hiervoor opgesteld stond wordt door de Alpair5 straatlengtes achter zich gehouden, alsof er een gordijn werd weggehaald. En dan die ruimtelijkheid, de plaatsing van de zang en instrumenten, je hoort gewoon dat de cymbalen rechts boven de snaredrum staan. Na deze bijna bedwelmende indrukken blijft het laag wat onopvallend, totdat we ons realiseren dat er hier maar een schamele 27 cm² aan luidsprekeroppervlakte al dat laag voortbrengt. Zonder dreunen of illusie van laag opwekkende overdrijving van het gebied rond de 100 Hz wordt hier een heel volwassen en zuiver laag neergezet.

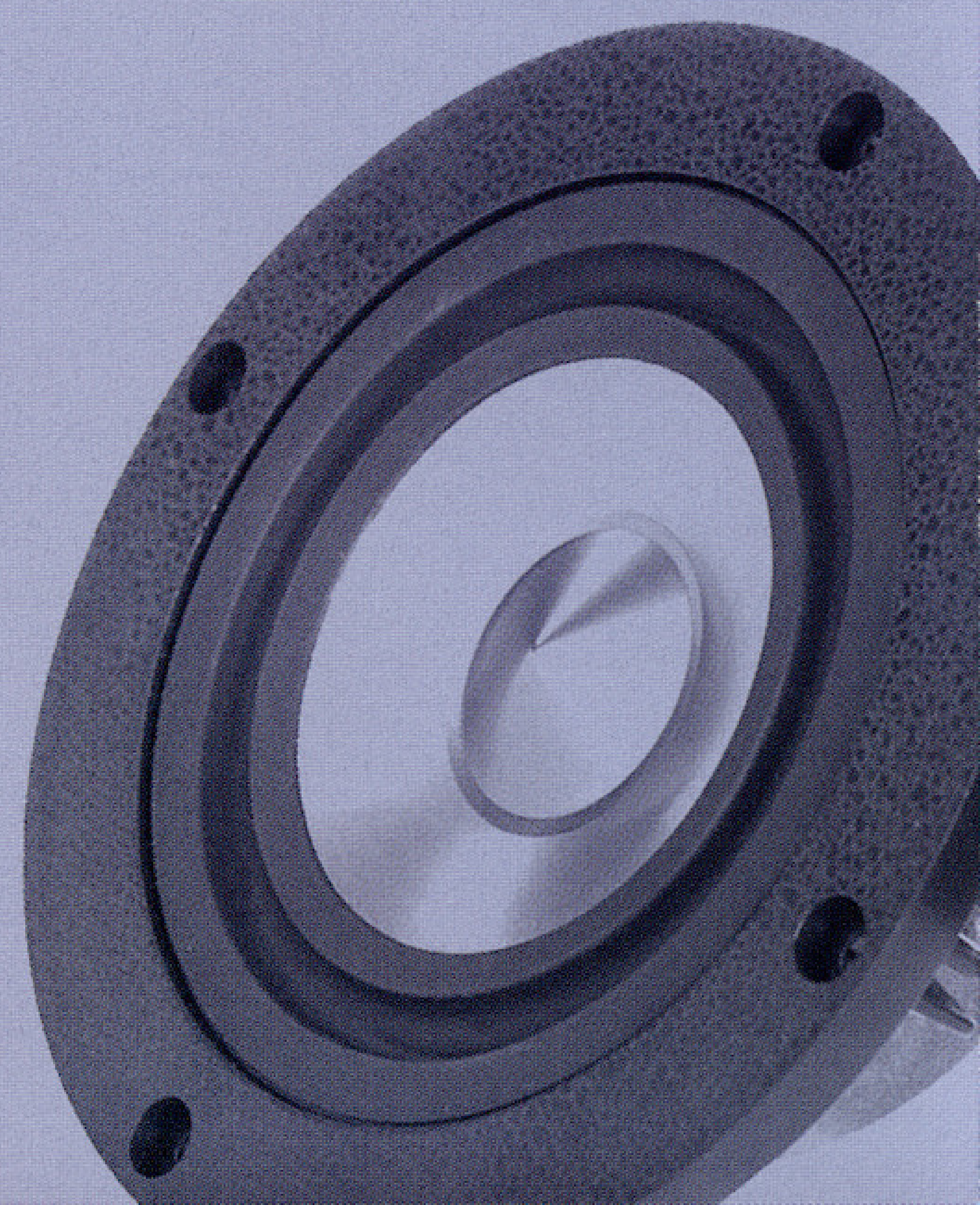
Laagondersteuning

Hoewel de laagweergave van het voorgestelde systeem velen zal verbazen, en voor niet al te hoge volumes ruim voldoende zal zijn blijft de dynamiek en diepgang z'n beperkingen hebben: de fysiek van de kleine driver valt zelfs met de best ontworpen behuizing niet te omzeilen, toveren kan ook met een TL niet. Als een correcte weergave van het onderste octaaf in de muziek (contrabas, orgel) gewenst is, of als een grotere ruimte met muziek gevuld dient te worden, dan is ondersteuning in het laag gewenst.

De makkelijkste manier om dit te doen is door toevoeging van een of twee subwoofers (bv. met de CSS SDX7), deze kan zeer mooi laag weergeven in een compacte kast, en matcht zeer goed (ook optisch) met de Alpair5 die actief worden gescheiden tussen de 100Hz en de 150 Hz van de Alpair5. Met de Omnes Audio Amp 2.1 is een actief systeem als dit makkelijk en voor een beschaafd bedrag te realiseren: deze versterker is een 4 kanaals klasse-T versterker met ingebouwd actief filter.

Specificaties

Naam:	Ga voor Goud
Principe:	Eénweg transmissielijn
Ontwerp:	Henkjan Olthuis
Driver:	Markaudio Alpair5 copper/gold
Filter:	Optionele sperkring
Afmetingen:	400x115x275 mm (hxbxd)
Prijs:	€ 200,- per paar





Capella

Een tweeweg, maar dan anders

DOOR TONY GEE

Negentig procent van alle compact luidsprekers bestaat uit twee drivers in een niet al te grote basreflex behuizing, aan elkaar gekoppeld door middel van een twee-weg filter met een kantelpunt rond de 2500 Hz. Zo op het eerste gezicht niets nieuws onder de zon: de Capella gebruikt een 15 cm woofer in een 10 liter behuizing aan de achterzijde geventileerd alleen ligt bij deze luidspreker het kantelpunt rond de 500 Hz.

Concept

Een aantal belangrijke criteria ligt ten grondslag aan het ontwerp van deze luidspreker. De meest belangrijke is de toepassing een breedbandluidspreker voor het hoog en het middengebied. Het voordeel hiervan is dat een zo breed mogelijk frequentie spectrum door één puntbron wordt weergegeven. Dit heeft een zeer ruimtelijke weergave tot gevolg. Waar breedbanders minder goed in zijn is het weergeven van lage frequenties, het is makkelijk voor te stellen dat als een kleine conus gelijktijdig probeert lage en hoge tonen weer te geven, dit ten kostte gaat van het een en ander. Lage tonen vragen om een zo groot mogelijk stralend oppervlak, relatief veel



bewegende massa en grote uitslagen; hoge tonen vragen om een zo klein mogelijk stralend oppervlak, weinig bewegende massa en doen de conus amper bewegen. Echte breedbanders bestaan dan ook niet en is het de keuze van de fabrikant of hij meer de nadruk legt bij zoveel mogelijk laag uit een kleine luidspreker of een verfijnd midden en hoog. Bij de hier toegepaste breedbander is gekozen voor het laatste. Door met het filter de breedbander vrij te houden van lage tonen zal de vervorming een stuk lager zijn en de belastbaarheid flink toenemen.

Het zo efficiënt mogelijk omzetten van het elektrisch signaal in akoestische energie was een ander belangrijk punt bij het ontwerp van deze luidspreker. Een deel van deze energie mocht dus niet verstookt worden in weerstanden voor deze breedbander. Bovendien, hoe minder componenten in de signaalweg, hoe beter – de beste weerstand is nog altijd geen weerstand. Verder mocht de baffle-step niet gecompenseerd worden, dit gaat ook ten koste van het systeem rendement. Elke conusluidspreker in een behuizing heeft een bij toenemende frequentie, een stijgende respons. Dit komt doordat hoge frequenties zich bundelen en lage frequenties naar alle kanten afstralen. Hierdoor ontstaat er op de luister-as meer hoge tonen energie. Het punt waarbij de baffle-step optreedt hangt van de breedte van de behuizing af maar bevindt zich bij de meeste compacte speakers in het gebied tussen de 500 tot 800Hz. De taak was om een kleine woofer te vinden die het rendement van de breedbander in het midden en hoog, dus boven de baffle-step, kon bijhouden. Doordat de baffle-step niet is gecompenseerd, lag ook meteen de overnamefrequentie tussen woofer en breedbander vast.

Dynamisch duo

De hier gebruikte breedbander is de uit China afkomstige Tang-Band W4-1320SD. Een 12 centimeter breedbander met een conus van met bamboevezels versterkt papier. De oppervlakte van deze conus bedraagt $57cm^2$. De conus is opgehangen in een natuur rubberen rolrand en heeft in het midden een massief aluminium fasekegel. Aan de achterzijde zien we een compacte neodymium magneet die zorgt voor een sterke aandrijving van de slechts 3,5 gram bewegende massa, dit heeft een gezond rendement tot gevolg. Een bijkomend voordeel van de compacte magneet is dat de conus naar achteren toe minder "ziet", hij kan dus beter ademen en reflecties van het harde materiaal worden verminderd. Met een lineaire uitslag van 3 millimeter is er voldoende ruimte voor wat dynamiek mocht het een keer lekker hard moeten. Al deze onderdelen worden op hun plek gehouden door een stijve, licht metaal gegoten korf die aan alle kanten is voorzien van de nodige ventilatie mogelijkheden. De spreekspoel is zichtbaar door de openingen tussen de achterste ophanging en de voorste poolplaat, dit alles om compressie binnen het aandrijfsysteem te minimaliseren. De driver laat in zijn geheel een zeer nette indruk achter. De breedbander werkt in een gesloten behuizing met een netto inhoud van circa 4 liter. Alle wanden van deze behuizing zijn inwendig bekleedt met Intertechnik Damping-10 en de inhoud is in zijn geheel losjes gevuld met Sonofil polyester dempingswatten. In combinatie met de parameters van de Tang-Band zorgt dit voor een –3 dB-punt van rond de 150 Hz.

De zoektocht naar een geschikte woofer die voldeed aan de eisen van het oorspronkelijk concept werd uit eindelijk gevonden bij de Deense fabrikant Audio Technology uit het plaatsje Skanderborg waar tevens Dynaudio gevestigd is. De eigenaar Per Skaaning was een van de oprichters van Dynaudio en is op een gegeven moment zich uitsluitend gaan toeleggen op het fabriceren van woofers en middentoners. Tegenwoordig worden drivers van Audio Technology o.a. gebruikt door gerenommeerde high-end luidspreker fabrikanten als Verity Audio, Rockport Technologies, Peak Consult en Sonus Faber. De in de Capella toegepaste woofer is een 15cm exemplaar van het type C-Quenze 15 J 52 15 06 SDK in een speciale 4 ohm uitvoering met een extra grote magneet. De 4 ohm impedantie geeft meer rendement vergeleken met de standaard 8 ohm versie en de grotere magneet zorgt door de lagere Qes voor een relatief compacte behuizing. De woofer werkt in een basreflex behuizing met een netto inhoud van circa 10 liter. Ook hier zijn alle wanden inwendig bekleedt met Intertechnik Damping-10 en is de inhoud in zijn geheel

gevuld met Sonofil polyester dempingswatten. De C-Quenze woofer zorgt in combinatie met de Intertechnik Jetline-60 poort voor een –3 dB-punt van rond de 58 Hz.

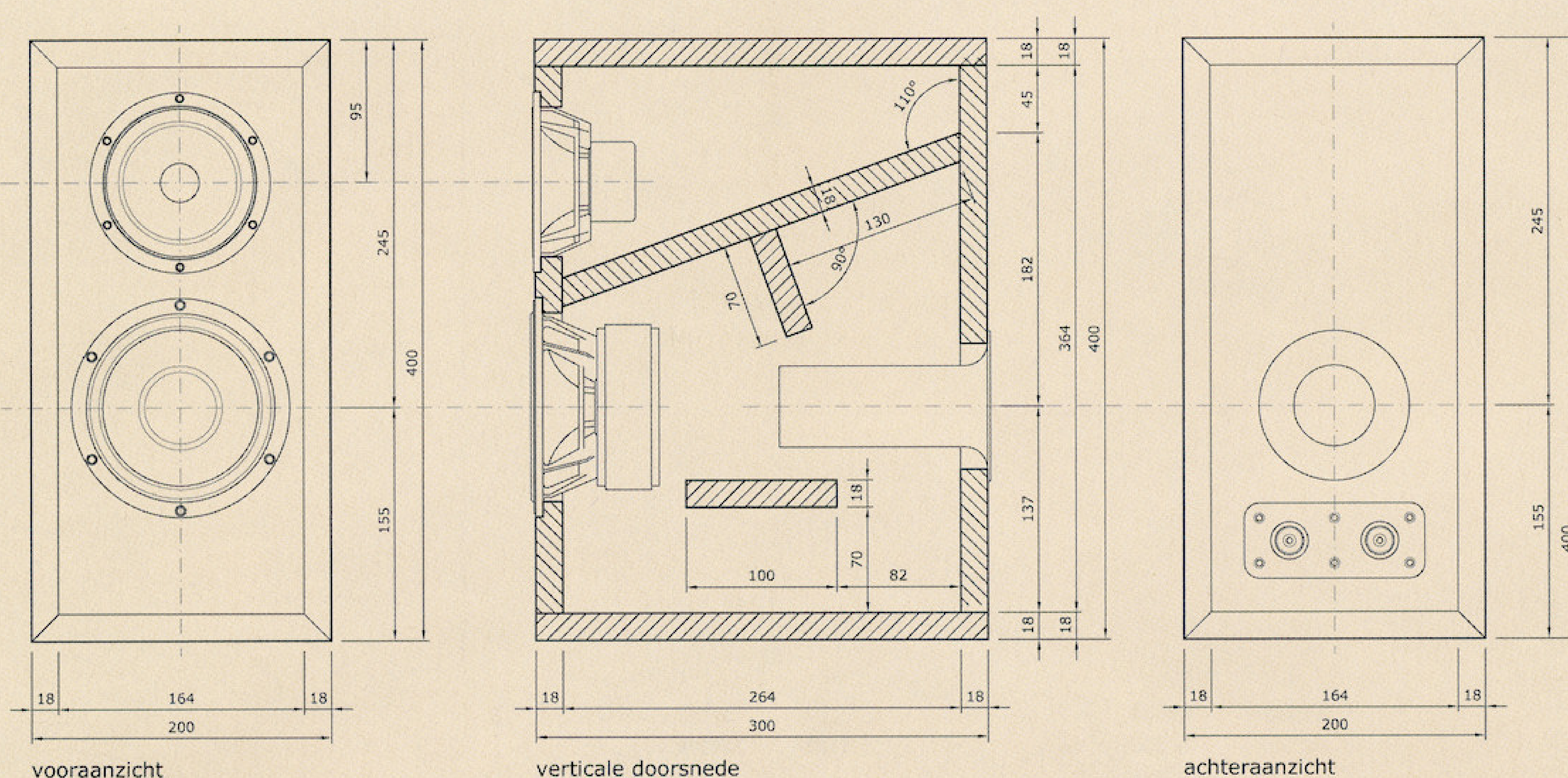
Gulden Snede

De buiten afmetingen van deze kasten zijn bepaald met behulp van de Gulden Snede, dit voor een zo harmonisch mogelijke verhouding tussen hoogte, breedte, diepte en de positie van de drivers in het front. Inwendig is de behuizing gescheiden in twee verschillende volumes door middel van een schuin geplaatst tussenschot. Verder treffen we twee plankjes die zorgen voor extra stabiliteit. Op de bouwtekening is te zien hoe een en ander in elkaar zit. De kasten zijn gemaakt van 18 mm dik berkenmultiplex van professionele kwaliteit en zijn afgewerkt met een zeldzaam fineer voorzien van een zijde matte lak. De fineersoort is zogenaamde Mappa Burl, ook bekend als gemoesteerd populier. Normaliter vertoont deze geen grijze wolken structuur, deze zou ontstaan zijn door een ziekte tijdens het leven van de boom.

De woofer en de breedbander zijn netjes in het front verzonken gemonteerd. Aan de achterkant treffen we onder de basreflexpoort een paar degelijke poolklemmen aan. Boven aan de achterzijde zien we op de foto nog een rond gat. Bij deze prototypes was de behuizing van de breedbander eerst geventileerd, in de uiteindelijke versie is deze opening komen te vervallen.

Eén en één is één

De kunst van het filteren van luidsprekers is om de verschillende drivers zo aan elkaar te koppelen dat één naadloos geheel ontstaat, niet alleen meettechnisch maar nog belangrijker, gehoormatig. Zoals eerder genoemd werd bij de Capella het overnamepunt bepaald door de kast breedte. Dit punt ligt ruim binnen het werkingsgebied van beide drivers. Om het karakter van de woofer en de breedbander zo homogeen mogelijk in elkaar te laten overvloeien kon dus gekozen worden voor een filter met relatief slappe filterhellingen, in dit geval een eerste-orde seriefilter met elektrische hellingen van 9 dB per octaaf. De eigenlijke filterwerking wordt gedaan door spoel L1 en condensator C3a + C3b, de overige onderdelen zijn compensatie netwerken. Spoel L1 ligt parallel aan de Tang-Band en zorgt dus voor een hoogdoorlaat functie voor de breedbander, condensator C3 ligt parallel aan de C-Quenze en zorgt dus voor een laagdoorlaat functie voor de woofer. De kwaliteit van deze twee onderdelen is van cruciaal belang voor het uiteindelijke karakter van de luidspreker. Voor de spoel is gekozen voor een folie type vanwege het feit dat deze door zijn opbouw het meest de ideale spoel benadert met één "draad" per opbouw van de wikkelingen. Gehoormatig heeft een foliespoel een goede ruimtelijke weergave met een duidelijke plaatsing van de individuele instrumenten en stemmen. De condensator is uit budgettaire overwegingen samengesteld uit twee verschillende condensatoren die een totaalwaarde van ruim 90 uF vertegenwoordigen. Als dit geheel uitgevoerd zou worden in top kwaliteit, zou deze net zo duur worden als de woofer en de breedbander samen. Daarom bestaat 90% uit een goede standaard kwaliteit MKP en 10% uit een condensator van zeer hoge kwaliteit. In dit geval is gekozen voor een samenstelling uit Clarity Cap APW en MR. De nieuwe Clarity Cap MR is het resultaat van een langlopend onderzoek naar de klankbepalende eigenschappen van condensatoren en is door de fabrikant uitgevoerd in samenwerking met de Univer-



Figuur 1
De bouwtekening van de Capella.

Capella © www.humblehomemadehifi.com

* materiaal 18mm berken multiplex
* binnenwanden bekleden met Intertechnik Damping-10
* dempingsmateriaal Intertechnik Sonofil
* woofer: Audio Technology C-Quenze 15 J 52 15 06 SDK - 4 ohm; Vbox=10 liter netto
* breedbander: Tang-Band W4-1320SD; Vbox = 4 liter gesloten, f-3dB = 150Hz
* basreflexpoort: Intertechnik Jetline-60; fb=57Hz f3=58Hz



Foto 3
De twee belangrijkste filteronderdelen.

siteit van Salford in Engeland. Deze condensator behoort tot de top van wat er tegenwoordig verkrijgbaar is en kenmerkt zich door een enorm ruimtelijk en groots beeld met veel doortekening.

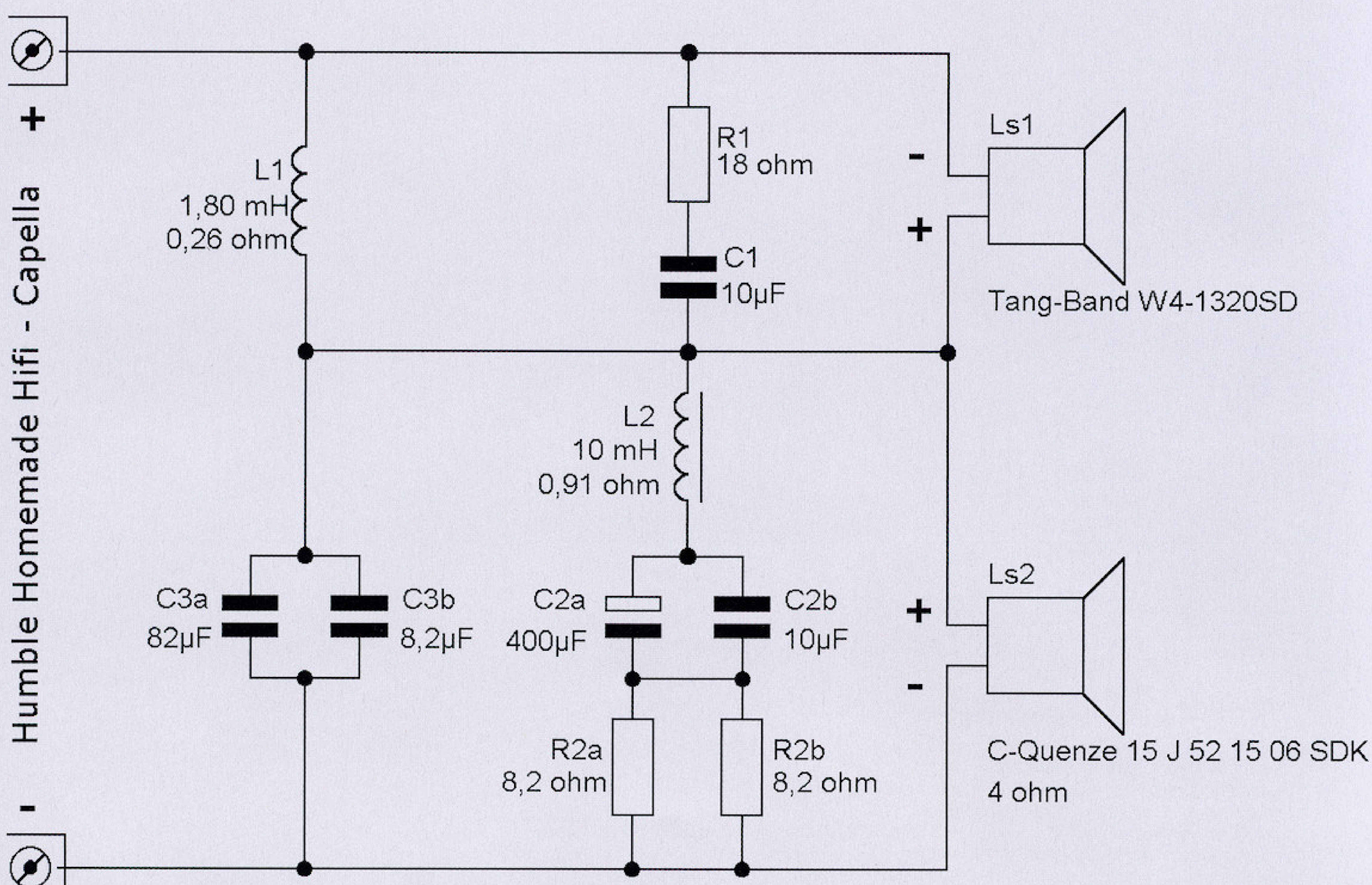
Naast deze twee belangrijke onderdelen bevat het filter nog een tweetal correctienetwerken, parallel aan de breedbander een RC-netwerk en parallel aan de woofer een LCR-netwerk. Het RC-netwerkje bestaande uit R1 + C1 heeft twee functies: ten eerste heeft het een licht corrigerende werking op de werking van spoel L1 en verandert zo het gedrag van de totale luidspreker in het middengebied. Ten tweede zorgt het ervoor dat de systeemimpedantie in het midden en hoog constant blijft. De LCR parallel aan de woofer zorgt ervoor dat de bovenste van de twee impedantie pieken die ontstaan door de basreflex afstemming vlak getrokken wordt. Zou deze piek niet gecorrigeerd zijn, dan zou er een bult ontstaan in de frequentiecurve van de woofer doordat de hoge impedantie de functie van het filter zou tegenwerken. Dit zou resulteren in een dik en wollig klinkend laag. Omdat het frequentiegebied waarin dit netwerkje werkt in het gebied zit waar onze oren minder gevoelig zijn, kunnen voordelige componenten worden toegepast. Spoel L2 mag een hoge inwendige weerstand hebben omdat dat onderdeel is van het geheel. Weerstand R2 is samengesteld uit twee 10 watt weerstanden parallel om te zorgen voor voldoende belastbaarheid. Tenslotte bestaat de capaciteit C2 voor het grootste gedeelte uit parallel geschakelde bipolaire elko's met een MKP parallel. Deze MKP zorgt voor een beter impuls gedrag wat uiteindelijk voor meer doortekening in het laag zorgt.

L1 - 1,8 mH 12AWG Jantzen Cross Coil koperfolie spoel, Rdc = 0,26 ohm
L2 - 10 mH correctie spoel, Rdc = 0,91 ohm
C1 - 10 uF Clarity Cap SA
C2a - 400 uF bipolair samengesteld uit 2x 150uF + 1x 100uF
C2b - 10 uF Clarity Cap APW
C3a - 82 uF Clarity Cap APW
C3b - 8,2 uF Clarity Cap MR
R1 - 18 ohm MOX 10 watt
R2a - 8,2 ohm MOX 10 watt
R2b - 8,2 ohm MOX 10 watt

Luisteren en meten

Wat altijd weer duidelijk is bij elke nieuwe speaker, en de Capella is geen uitzondering, is dat luidsprekers altijd enige tijd nodig hebben om ingespeeld te raken. Vers uit

Figuur 2
Het seriefilter van de Capella.



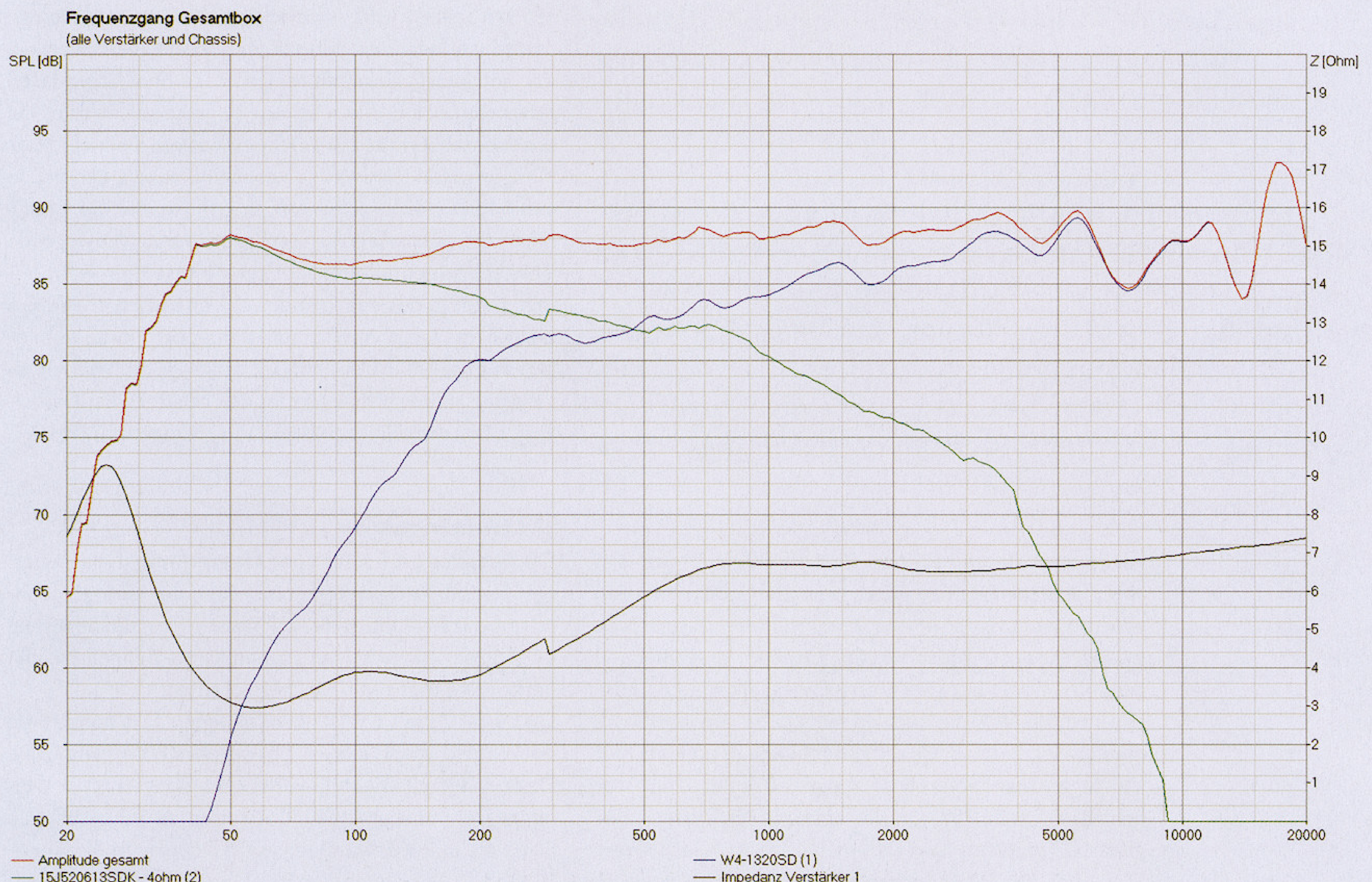
de doos klinken ze schel, is het laag rommelig en bescheiden en blijft het beeld aan de luidsprekers kleven. Het kan soms weken duren voordat alles op zijn plaats valt maar het inspeel proces is ook te versnellen door een CD met roze ruis een weekend lang op een stevig niveau op repeat te zetten.

Deze luidsprekers komen het best tot hun recht vrij opgesteld op een paar stevige standaards en zo ver naar binnen gedraaid dat vanuit de luisterpositie de binnenzijde van de kasten nog net zichtbaar is. Wat ze dan neerzetten is een enorm ruimtelijk beeld. De combinatie van deze breedbander en de toegepaste filteronderdelen zet een beeld neer dat enorm breed en ruimtelijk is. Door deze ruimtelijkheid en de goede detaillering is bij deze speaker een duidelijke plaatsing van de instrumenten en stemmen een vanzelfsprekendheid. Bij een goed opgenomen orkest is het beeld niet alleen van links naar rechts maar ook van voor naar achter. De C-Quenze woofer weet een stevig fundament neer te zetten van waaruit het hele plaatje wordt opgebouwd, de Tang-Band sluit daar naadloos op aan. Het hoog van de breedbander is direct maar nooit opdringerig, misschien niet zo subtiel als hele dure softdome tweeters maar met een lekker dynamisch karakter en voldoende gedetailleerd om alle details te laten horen, het speeksel van de zangeres, het ruisen van de gitaarversterker in de studio.

De metingen leveren een mooi vlakke frequentiecurve op met een heel licht oplopend karakter (let op de weinig verhullende verticale schaalverdeling). Het rendement ligt rond de 88 tot 89dB. Bovenin zien we dat een breedbander wat anders te werk gaat dan een dometweeter maar blijft wel op volle sterkte tot voorbij de meetgrens van 20 kHz. Duidelijk te herkennen is de relatief grote overlap van beide drivers in het middengebied. Bij de impedantie curve is goed te zien dat de bovenste van de twee pieken in het laag, die worden veroorzaakt door de poort/kast combinatie, vlak wordt getrokken door het LCR-netwerkje. De impedantie in het laag schommelt dipt eventjes naar 3,2 ohm bij 57 Hz, heel normaal voor een 4 ohm systeem en geen probleem voor de meeste versterkers. De rest van de impedantie is zeer versterker vriendelijk en schommelt tussen de 5 en 6 ohm over het hele bereik van 400 Hz tot 20 kHz. Dit, in combinatie met het gezonde rendement, zal voor de meeste versterkers geen probleem vormen.

Naam:	Capella
Principe:	tweeweg basreflex-systeem
Ontwerp:	Humble Homemade Hifi, Tony Gee
Woofer:	C-Quenze 15 J 52 15 06 SDK 4 ohm
Breedbander:	Tang-Band W4-1320SD
Scheidingsfilter:	550 Hz, 6 dB/oktaaf
Afmetingen:	400 x 200 x 300mm (hxbxd)
Netto inhoud:	4+10 liter
Belastbaarheid:	80 Watt
Prijs bouwkit:	€ 440,- per stuk (drivers + scheidingsfilter)

Figuur 3
Frequentie- en impedantiecurve





Speakerland LAT-500 subwoofer

Mini-subwoofer met innovatieve Tymphany-driver

DOOR RUUD JANSEN

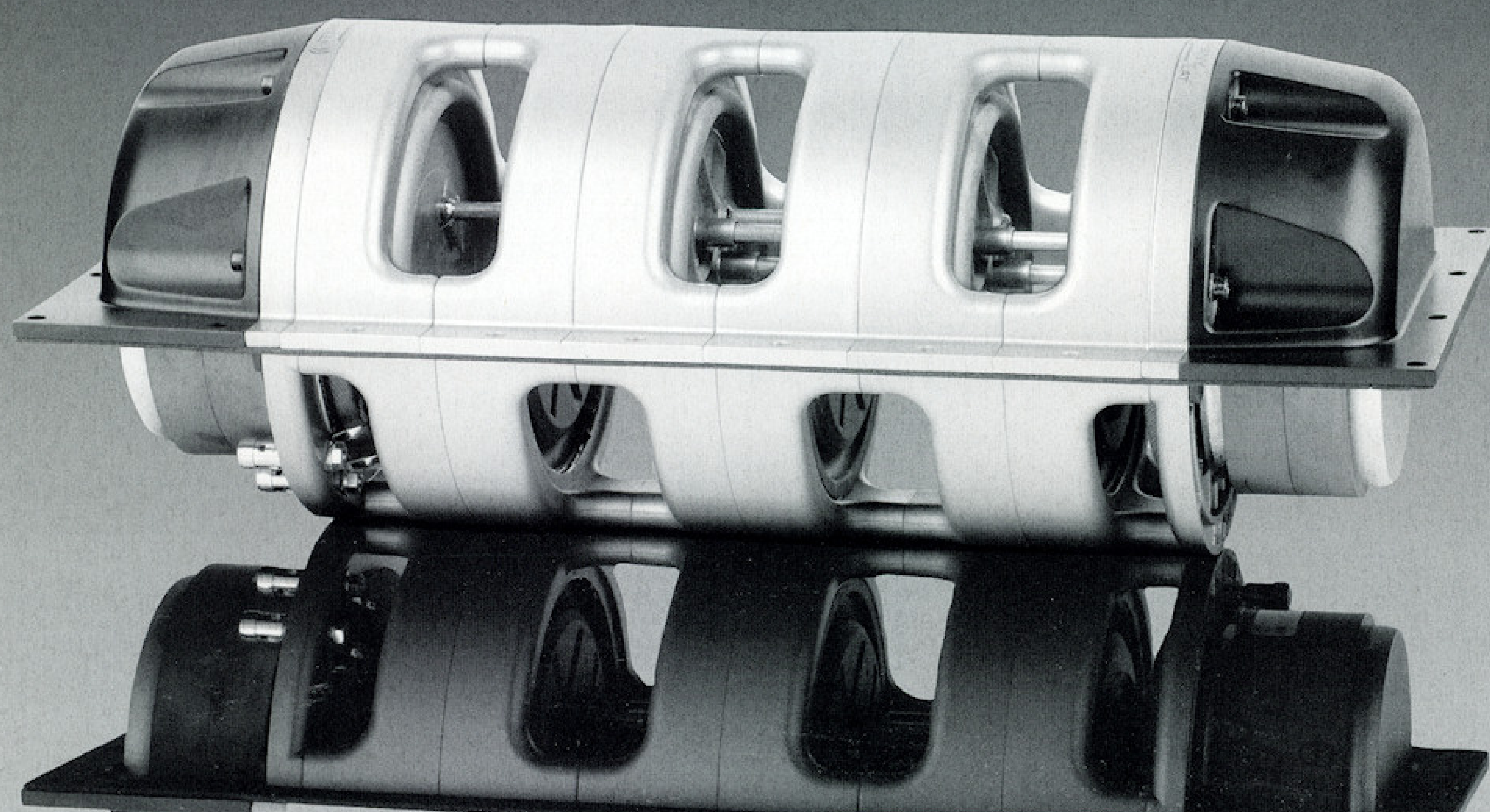
Een goede basweergave vormt het fundament van elk luidsprekersysteem. Vooral bij kleinere tweewegsystemen is een aparte subwoofer eigenlijk onmisbaar om een perfecte weergavekwaliteit over het complete audiobereik te realiseren. Een goede subwoofer die voldoende druk in het laag kan maken, is vaak nogal fors van afmetingen en daardoor een behoorlijke sta-in-de-weg in de huiskamer. Met de LAT-500 sub die gebruik maakt van een heel bijzondere driver, kunnen geringe kastafmetingen en een hoge maximale geluidsdruk met geringe vervorming eindelijk met elkaar gecombineerd worden.

Als je voor de eerste maal de LAT-500 sub ziet, dan weet je eigenlijk niet goed wat daar nou voor een vreemd voorwerp in zit. Het zou een futuristisch broodrooster of misschien een luchtververser kunnen zijn. Nee hoor, het gaat hier wel degelijk om een luidspreker, alleen is die bepaald niet op de conventionele manier opgebouwd. Bij dit systeem kijk je nu eens niet aan tegen een papieren of kunststof conus, zoals dat gebruikelijk is bij 99% van alle luidsprekers. De hier toegepaste Tymphany LAT-500 is een soort luidsprekerarray met enkele bijzondere eigenschappen waar we zo meteen meer over zullen vertellen. Het leek Ruud Jansen van Speakerland een uitdaging om met deze nieuwe transducer een klein subwoofersysteem te ontwerpen, dat ondanks geringe afmetingen toch heel laag gaat en bovendien ook nog een behoorlijk grote geluidsdruk kan produceren. En dat zijn gewoonlijk zaken die met elkaar in tegenspraak zijn. Wil je veel druk maken, dan heb je een luidspreker met een groot conusoppervlak nodig. Maar die past alleen in een grote kast (vanwege de Thiele/Small-parameters). Als je de kast klein wilt houden, moet je dus een kleinere driver nemen en die kan niet zoveel lucht verplaatsen. Een soort kip-en-ei-probleem dus. Nu is het eindelijk mogelijk om veel luchtverplaatsing te realiseren met een relatief kleine behuizing, door gebruik te maken van een zogenaamde LAT.

Lineair array

De afkorting LAT staat voor Linear Array Transducer, een aantal luidsprekermembranen in een gemeenschappelijke behuizing die vlak naast elkaar zijn opgesteld en worden aangedreven via een aantal pennen die zijn verbonden met twee aandrijfsystemen.

De Linear Array Transducer (zie figuur 1) is bedacht en ontwikkeld door enkele ontwerpers van Tymphany. Deze naam zal veel hifi-liefhebbers waarschijnlijk weinig zeggen. Het gaat hier om een in de VS gevestigde firma die in 2005 het Deense DST overnam, het moederbedrijf waar Vifa, ScanSpeak en Peerless onder val-



Figuur 1
Foto van de losse LAT-500 driver van Tymphany. Aan beide uiteinden bevindt zich een magneetsysteem met een spreekspoel en een dubbele magneet.

len. In één klap had Tymphany zo een aantal luidsprekermerken in handen met een uitstekende reputatie, een eersteklas ontwerpteam en een behoorlijke productiecapaciteit. In de afgelopen jaren heeft Tymphany zijn best gedaan om deze merken internationaal nog beter op de kaart te zetten en heeft men zelfs een eigen productiefaciliteit voor drivers in China geopend. De basis van dit alles, de ontwikkeling van de drivers, zit echter nog steeds geheel in Denemarken.

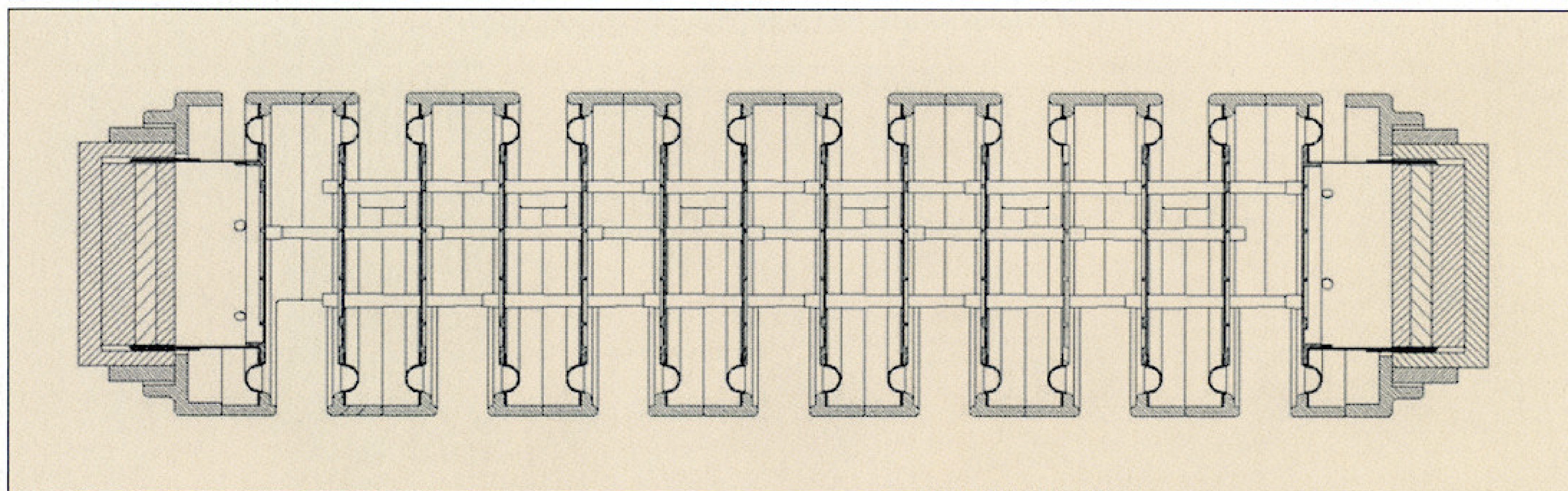
Aan Amerikaanse zijde, op het hoofdkantoor van Tymphany, wordt echter niet alleen naar financiële zaken gekeken . Ook hier wordt aan luidsprekerontwikkeling gedaan, zij het op een veel kleinere schaal dan in Denemarken. Enkele ontwerpers waren al enkele jaren bezig met de ontwikkeling van een nieuw soort woofer. In 2004 waren Andrew Unruh en Robert True zo ver dat ze op een AES-conventie een nieuwe transducer konden presenteren met een bijzondere vorm en bijzondere eigenschappen. Vanaf dat moment heeft het nog enkele jaren geduurd voordat dit systeem productierijp was, maar sinds kort zijn de LAT-drivers van Tymphany eindelijk verkrijgbaar voor zelfbouwers en industriële gebruikers.

Laten we eens kijken naar de constructie en typische eigenschappen van deze driver. De tekening in figuur 3 laat de opbouw van het LAT-systeem zien. Een aantal conussen is achter elkaar gemonteerd in een chassis dat aan weerszijden openingen bevat. De conussen bewegen om en om tegen elkaar in. De openingen zijn zodanig geplaatst dat ze beurtelings aan de binnen- en buitenzijde van het frame zitten. Twee naast elkaar zittende conussen kunnen dus de lucht naar de voorzijde van het frame 'persen', terwijl een van die conussen met de daarnaast liggende conus de lucht dan juist door de opening ernaast naar binnen 'zuigt'. Het geheel werkt dus als een soort harmonica. Je kunt het enigszins vergelijken met de ESS Air Motion Transformer uit de 70-er jaren, waarbij een gewelfde folie een verhoudingsgewijs grote hoeveelheid lucht kon verplaatsen door het maken van knijp- en trek-bewegingen (alleen was dit systeem ontworpen voor de weergave van hogere frequenties). Dr. Oscar Heil, de uitvinder van dit systeem, heeft indertijd ook gedemonstreerd met prototypes voor laagweergave die qua principe wel wat leken op de huidige LAT-driver (maar wel tien keer zo groot waren), die zijn echter nooit in serieproductie genomen.

De aandrijving van de conussen in de LAT geschiedt door middel van twee vrij conventionele luidspreker 'motors' zoals die ook bij gewone woofers worden gebruikt. Deze bevinden zich aan de uiteinden van het chassis. Iedere spreekspoel is gekoppeld aan een speciaal membraan waarop drie aandrijfstangen voor het in beweging brengen van de andere conussen zijn bevestigd. Deze lichte maar zeer stijve stangen van een koolstoflegering zijn om en om gekoppeld aan de conussen. De stangen van de linker aandrijf-unit sturen dus conus 1, 3, 5... aan, terwijl de stangen van de andere unit de conussen 2, 4, 6... in tegengestelde richting in beweging brengen. In iedere conus bevinden zich dus steeds 6 gaten, drie waardoor de stangen voor de aandrijving in de ene richting kunnen glijden, terwijl de andere drie stangen in de andere drie gaten zijn vastgezet en zo de conus strak met de aandrijfunit koppelen. Dit klinkt mis-

Figuur 2
Deze detailopname laat duidelijk de aandrijfstangen zien die door de conussen lopen. Drie van deze stangen zijn vast verbonden met de zichtbare conus, de andere drie glijden door gaten in de conus en zijn verbonden met de voorgaande en de volgende conus.





Figuur 3
In deze doorsnedetekening zien we de totale constructie van de LAT-driver. Twee spreekspoelen aan de uiteinden zorgen door middel van aandrijfstangen voor het om en om aansturen van de conussen, zodat deze tegen elkaar in bewegen. (Illustratie: Tymphany)

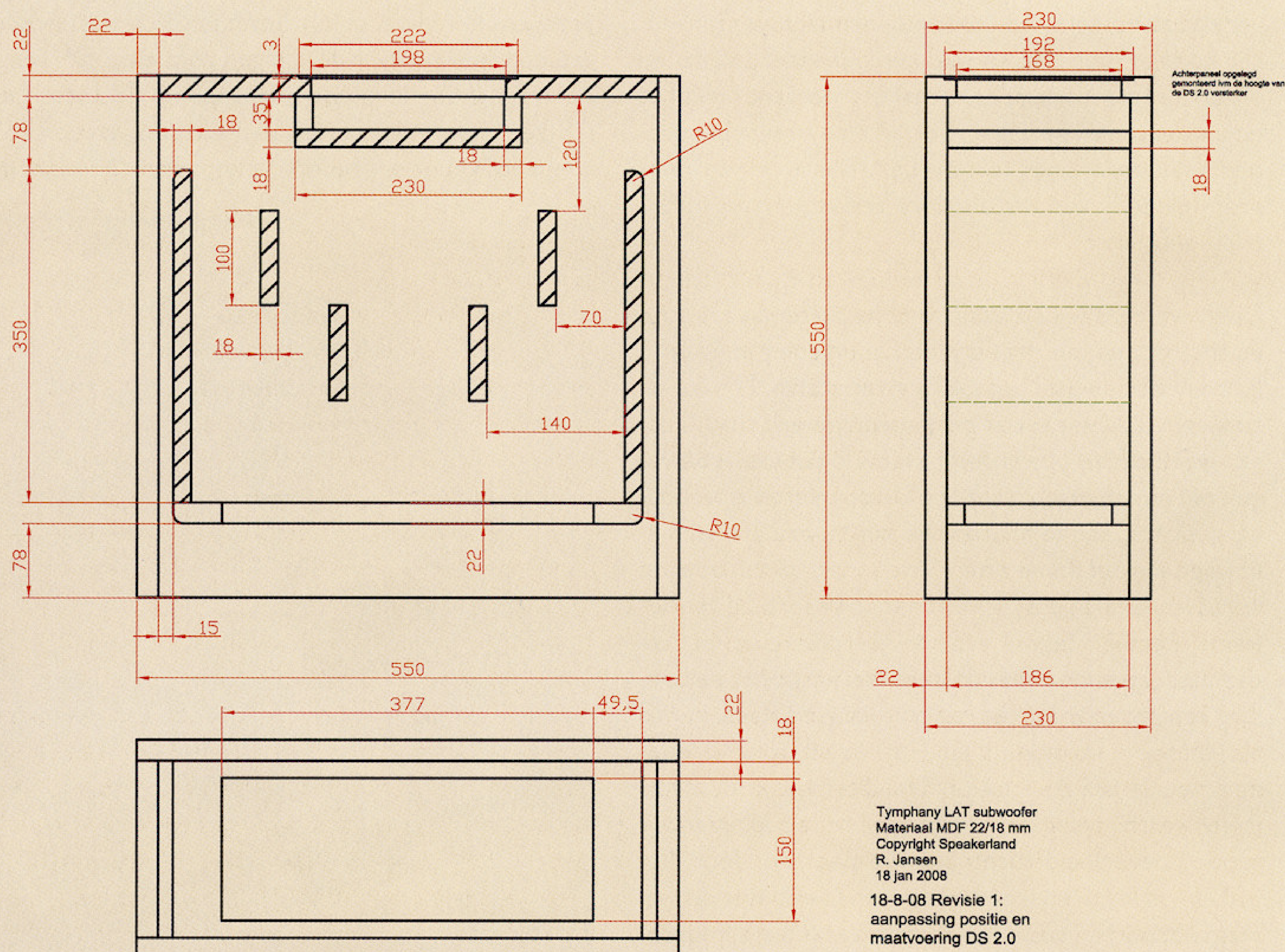
schien erg ingewikkeld, maar als u de foto's en de tekening nog eens goed bekijkt, dan begrijpt u de werking waarschijnlijk wel (anders is een bezoek aan Speakerland zeker aan te bevelen, dan ziet u met eigen ogen hoe het werkt).

Voordelen

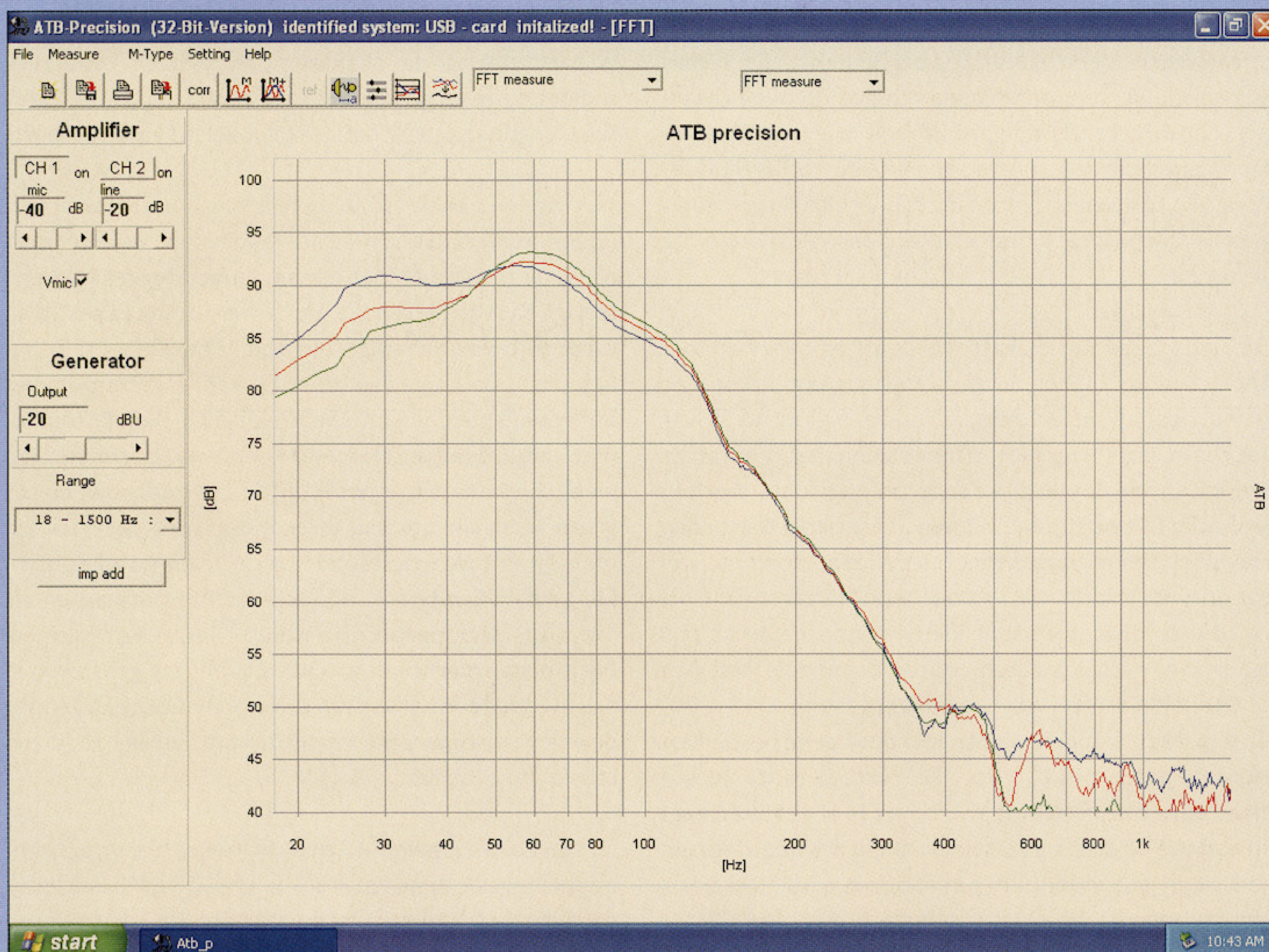
Deze conussen-array heeft een aantal voordelen. Zo kan een grote hoeveelheid lucht worden verplaatst met een driver die geringe fysieke afmetingen heeft. De hier toegepaste LAT-500 heeft bijvoorbeeld een effectief conusoppervlak dat bijna gelijk is aan twee 10" woofers! Omdat de driver zo smal is, hoeft de behuizing ook niet zo breed te zijn. Vergelijk dat maar eens met die twee 10" woofers, daar heb je wel wat meer plaats voor nodig.

Het toegepaste push-pull-systeem met twee aandrijfunits die in tegengestelde richting werken, levert verder het voordeel dat even harmonischen worden onderdrukt die bij elektrodynamische luidsprekers gewoonlijk ontstaan. Een ander belangrijk pluspunt van de push-pull-opzet is het feit dat er vrijwel geen trillingen in de driver zelf aanwezig zijn en dus ook niet kunnen worden doorgegeven aan de behuizing. Zelfs bij een klein tweewegsysteem voel je de kast al mee vibreren bij een wat hoger geluidsniveau, maar de kast van de LAT-subwoofer (die niet overmatig verstevigd is) blijft zelfs bij een grote geluidsdruk doodstil. Een heel belangrijk voordeel ten opzichte van gewone conusluidsprekers, kastkleuring is bij de LAT praktisch afwezig!

Zijn er ook nadelen? Ja, wat opvalt bij het bekijken van de technische gegevens is de vrij grote bewegende massa, natuurlijk onvermijdelijk bij zo'n constructie met een flink aantal conussen en twee maal drie aandrijfstangen. Maar voor toepassing in een subwoofer is dat juist gunstig om een goede afstemming te verkrijgen in een vrij kleine behuizing. Sommige fabrikanten van subwoofersystemen bevestigen juist extra gewicht op de conus van de woofer om de frequentiekarakteristiek naar beneden te verschuiven.



Figuur 4
Bouwtekening van de kast voor de LAT-500 sub. De basreflexopeningen zijn gerealiseerd met behulp van enkele schotten, zodat de openingen aan weerszijden van de LAT-unit zitten. Aan de achterzijde bevindt zich een apart compartiment voor de subwoofermodule.



Figuur 5
Frequentiekarakteristiek van de LAT-500 sub. Het kantelpunt van het actieve laagdoorlaatfilter is hier ingesteld op circa 80 Hz. Door enige bassboost toe te voegen, kan de curve helemaal worden rechtgetrokken tot 25 Hz. In een doorsnee huiskameropstelling is dat echter niet nodig, aangezien daar al een natuurlijke 'bassboost' optreedt. (Curves: bassboost op 50 Hz, resp. 0, +3 en + 6 dB)

Het in deze kast toegepaste type is de LAT-500, zoals uit de naam van de kast al blijkt. Dit exemplaar heeft een nominale impedantie van 8 Ohm (beide spreekspoelen parallel geschakeld; er is ook een 4-Ohm-versie verkrijgbaar). De resonantiefrequentie ligt op 28 Hz, het rendement is vrij hoog met 89 dB/W/m, het totale effectieve conusoppervlak bedraagt 525 cm2 en de spreekspoel kan een lineaire uitslag maken van +/-5,5 mm. Toch is deze unit maar 41 cm lang en 18 cm breed, inclusief montageflens.

Subwoofer-module

Voor de aansturing van de LAT500 heeft Ruud gekozen voor een actieve oplossing. Op die wijze kan de subwoofer eenvoudig aan een bestaande audio-installatie worden toegevoegd. Er is dan geen aparte versterker nodig en het scheidingsfilter is in dit geval ook al ingebouwd. De keus is gevallen op een DS2.0 subwoofermodule van Hypex. Zoals de meeste lezers wel weten, staat de firma Hypex bekend om zijn goede klasse-D eindversterkers (zie ook de beschrijving in Audio-Special nummer 1). Deze worden door veel audioliefhebbers beschouwd als een van de best klinkende klasse-D-eindtrappen die momenteel op de markt verkrijgbaar zijn. Een groot voordeel van zo'n klasse-D-eindtrap is de geringe warmte-ontwikkeling. In dit geval kan de module dan ook probleemloos achter in de subwooferkast worden gemonteerd zonder dat er aparte koelmaatregelen moeten worden getroffen.

Bij de DS2.0 module heeft Hypex een van zijn eindversterkermodules gecombineerd met een bijpassende netvoeding (met een royaal gedimensioneerde ringkerntrafo) en een actief scheidingsfilter met een aantal handige instelmogelijkheden. Het toegepaste laagdoorlaatfilter heeft een steilheid van 18 dB/octaaf, de kantelfrequentie kan met een potmeter traploos worden ingesteld in een bereik van 30 tot 120 Hz. Er is een vast hoogdoorlaatfilter ingebouwd (12 Hz, 24 dB/octaaf) om de driver te beschermen tegen te grote uitwijkingen bij sterke subsonische geluiden. Verder is er nog een bassboost-functie waarmee een deel van de curve nog iets kan worden opgetild om bij zeer lage frequenties wat extra versterking te geven. Deze bassboost is met twee knoppen instelbaar (frequentie tussen 20 en 50 Hz, versterking tussen 0 en 6 dB). Tot slot is er nog de mogelijkheid ingebouwd om het faseverschil tussen de subwoofer en de overige luidsprekerboxen traploos te regelen tussen 0 en 180 graden of de polariteit om te keren met behulp van een schakelaar.
Een bijzonder universele module dus, die garant staat voor een kwalitatief hoogwaardige aansturing van de driver en bovendien alle noodzakelijke instelmogelijkheden voor een subwoofer biedt.

Kast en opbouw

Na de beschrijving van de LAT-woofer valt de beschrijving van de behuizing waarschijnlijk een beetje tegen, daar is weinig bijzonders over te melden. Het gaat hier om een vierkante, vrij platte basreflex-kast met een inhoud van circa 40 liter (figuur 4). De dikte (of breedte) van de behuizing is helemaal afgestemd op de breedte van de LAT 500. Samen met de houtdikte levert dat een kastbreedte op van slechts 230 mm!

Het basreflexkanaal is in tweeën gesplitst en bevindt zich zo aan weerszijden van de driver. Binnenin zijn verder nog enkele verstevigingspanelen tussen de twee zijkanten aangebracht. Aan de achterzijde is een apart compartiment aanwezig voor de Hypex-subwoofermodule. Voor alle panelen is 22 mm dik MDF gebruikt. En daarmee hebben we het 'houtgedeelte' ook wel zo ongeveer besproken.

De binnenzijde van de kast wordt losjes opgevuld met BAF-wadding. In het achtercompartiment komt een kleine opening waar de aansluitkabel naar de driver doorheen gaat (weer luchtdicht afsluiten met thermische lijm o.i.d.) en dan kan de subwoofermodule worden geplaatst. Die hoeft niet van een afdichtstrip te worden voorzien, aangezien dit compartiment toch geheel afgesloten is van de rest van de kast. Sluit eerst de kabel aan op de desbetreffende klemmen op de print (zie handleiding module) en schroef dan de module vast. Aan de voorzijde kan vervolgens de kabel aan de LAT-woofer worden gekoppeld en dan kan deze driver in de kast worden geschroefd. Door de relatief grote lengte moet deze met flink wat schroeven worden vastgezet (in totaal 24!), zodat elke sectie van de driver stevig met de kast is verbonden. Zorg ervoor dat alles gelijkmatig wordt aangedraaid. Daarmee is de subwoofer al klaar voor aansluiting aan de audio-installatie.

Aansluiten en afstemmen

De hier beschreven subwoofer vormt een ideale aanvulling voor kleine maar hoogwaardige monitorsystemen, zoals de A4-Monitor met zijn uitstekende Scan-Speak-units. Zulke compact luidsprekers hebben gewoonlijk een vrij vroege basafval bij circa 60...80 Hz. Daaronder verleent de basreflex-opening gewoonlijk nog extra ondersteuning, maar die kunnen we bij toevoeging van de LAT-500 sub gemakkelijk onderdrukken door een stevige prop dempingsmateriaal of noppenschuim in het basreflexkanaal te stoppen. Op die wijze maken we er vrijwel een gesloten behuizing van met een natuurlijke laagafval onder de juist genoemde frequentie. Er is dan geen apart elektrisch filter nodig voor de satelliet luidsprekers (dat kan natuurlijk wel, maar maakt de totale opzet wat complexer).

De subwoofer kan het beste worden aangesloten op een voorversterker-uitgang op de versterker. Indien deze niet aanwezig is, kunt u ook de luidsprekeruitgangen nemen en die met de subwoofer-ingangen verbinden (let dan goed op de polariteit om schade aan de eindtrappen te voorkomen!).

De subwoofer-kast kan het beste worden opgesteld in de buurt van de gewone luidsprekers. Het liefst midden ertussen, maar dat zal zeker niet altijd mogelijk zijn.
De afstemming van de subwoofer is een kwestie van veel luisteren en proberen. Voor de instelling van het kantelpunt zouden we in eerste instantie circa 80 Hz aanraden en geen bassboost. Beluister enkele nummers met een behoorlijk laag-aandeel en probeer dan eens hoe het klinkt als u de polariteitsschakelaar omzet. Heeft u de indruk dat het basniveau toeneemt in een bepaalde schakelaarstand, laat de schakelaar dan zo staan. Later kunt u dan nog eens gaan experimenteren met de faseverschuivingsknop, maar dat geeft subtielere veranderingen.

Het vinden van de juiste instelling van het subwooferweergaveniveau is dan de volgende stap, waar u uitgebreid de tijd voor moet nemen. In het begin klinkt een stevige bas wel fijn, vooral als de subwoofer er pas staat. Overdrijf niet, na enige tijd zult u merken dat u het basniveau waarschijnlijk te hoog hebt ingesteld en het beter wat minder kan. Gebruik ook bekende muziek met natuurlijke instrumenten en een onberispelijke weergavekwaliteit. Vooral bij de basweergave zijn er grote verschillen tussen diverse opnames en het is dan moeilijk om vast te stellen wat de juiste instelling is.
De LAT-500 sub is in eerste instantie ontworpen als aanvulling bij hoogwaardige stereo-luidsprekersystemen. Maar niets weerhoudt u ervan om hem te gebruiken in een surround-installatie, de driver kan meer dan genoeg druk leveren voor realistische niveaus en afgronddiepe bassen bij actiefilms e.d.

Bij stereo-weergave met twee high-end tweewegsystemen en goede apparatuur zal de LAT-500 sub het beste tot zijn recht komen. De afwezigheid van kasttrillingen en de geringe vervorming (door de push-pull werking van de driver) zorgen ervoor dat het totale weergavespectrum er een soort halve dimensie bij krijgt, namelijk meer ruimte en natuurlijkheid. Een goede basweergave heeft niet alleen voordelen bij de weergave van instrumenten die zelf lage frequenties produceren, maar vormt ook een subtiele basis bij de reproductie van bijvoorbeeld stemmen. Het lijkt alsof de zanger(es) er meer body door krijgt, het geheel doet een stuk natuurlijker aan. Bij dit alles geldt dat u het basniveau dus zeker niet moet overdrijven. Als u gewoon een lekkere basdreun zonder veel poespas wilt horen, dan heeft Speakerland daar wel andere (en goedkopere) oplossingen voor. De LAT-500 sub levert een fijnzinnige basreproductie en hij voelt zich dan ook het beste thuis bij luidsprekers van hetzelfde kaliber.

Speakerland LAT-500 sub

Type:	Actief subwoofersysteem
Ontwerp:	Ruud Jansen, Speakerland
Driver:	Tymphany LAT-500/8 Ohm
Versterkermodule:	Hypex DS2.0 Digital subAmp
Versterkervermogen:	100 W/8 Ohm
Scheidingsfilter:	actief, 18 dB/octaaf
Scheidingsfrequentie:	instelbaar, 30...120 Hz
Ingangsgevoeligheid:	125 mV
Afmetingen:	230 x 550 x 550 mm (hxbxd)
Netto inhoud:	40 l
Gevoeligheid:	89 dB (2,83 V/1 m)a
Prijs:	€ 639,- (driver, versterkermodule, MDF-houtpakket, dempingsmateriaal, schroeven en bekabeling)

Hans

Design tweeweg kwaliteit luidspreker

DOOR HENKJAN OLTHUIS

Een mooie slanke design luidspreker met een bijzonder gedetailleerd hoog, een zeer goede ruimtelijke weergave en een echt diep doorlopend laag die ook nog eens betaalbaar is. Misschien wel de heilige graal in luidsprekerland? Door een uitgekiend ontwerp in combinatie met een paar unieke drivers is dit nu binnen het bereik van iedere zelfbouwer.

De wens van de audiofiel

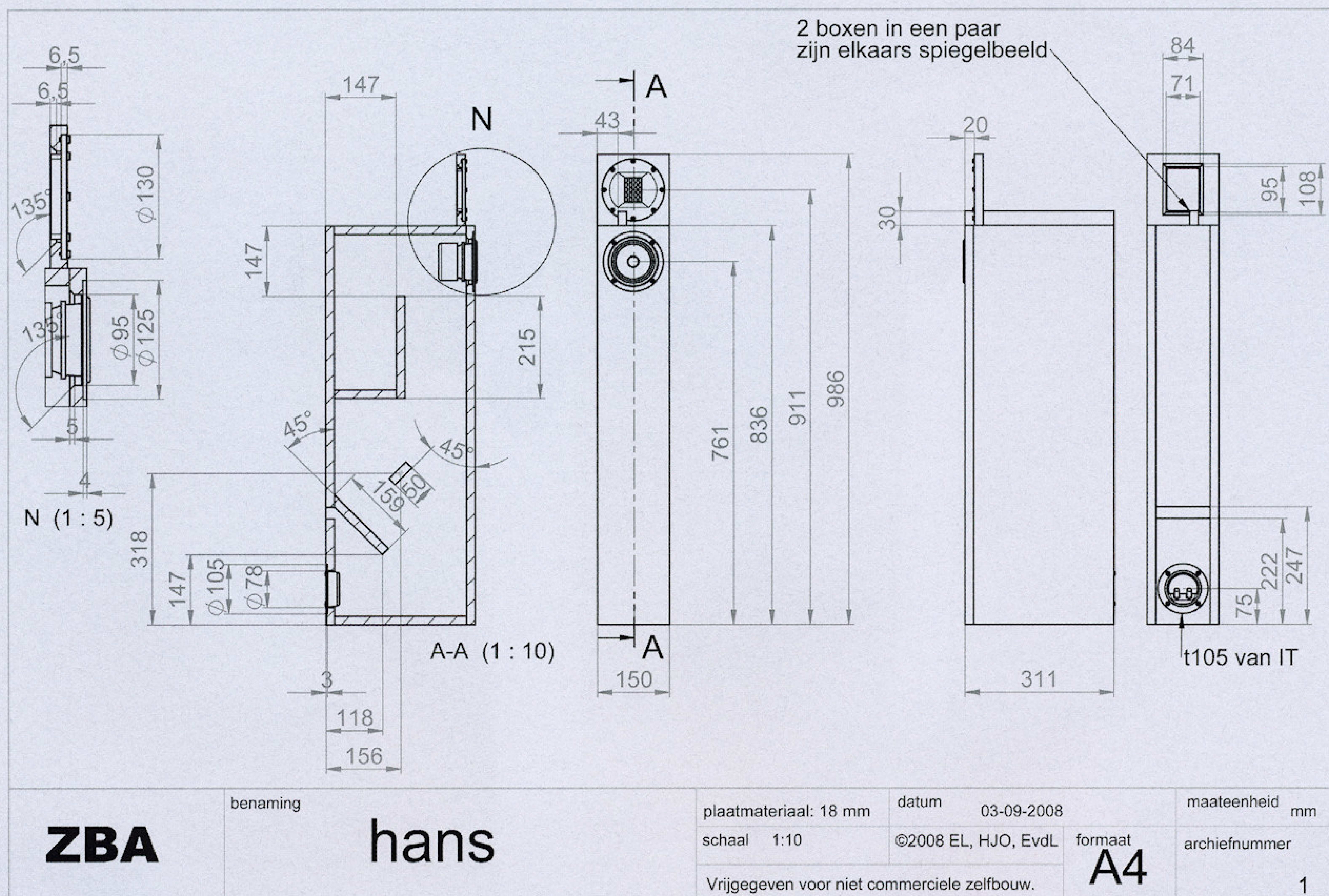
Vraag een willekeurige audiofiel naar de eisen die hij (bijna altijd hij) aan een luidspreker stelt, en je zult onder andere de volgende antwoorden krijgen: een gedetailleerd hoog zodat je elk detail van de muziek kan horen, een fantastische ruimtelijke weergave zodat je als je je ogen dicht doet de individuele instrumenten op de juiste plaats ziet staan en een echt diep en zuiver laag zodat een contrabas ook echt als een contrabas klinkt.

Vraag de partner van diezelfde audiofiel wat haar (tja, als onze audiofiel een hij is, dan is de partner meestal een zij) eisen aan een luidspreker zijn en je zult de volgende dingen als antwoord krijgen: een mooi uiterlijk, niet te groot en vooral makkelijk in de woonkamer te plaatsen.

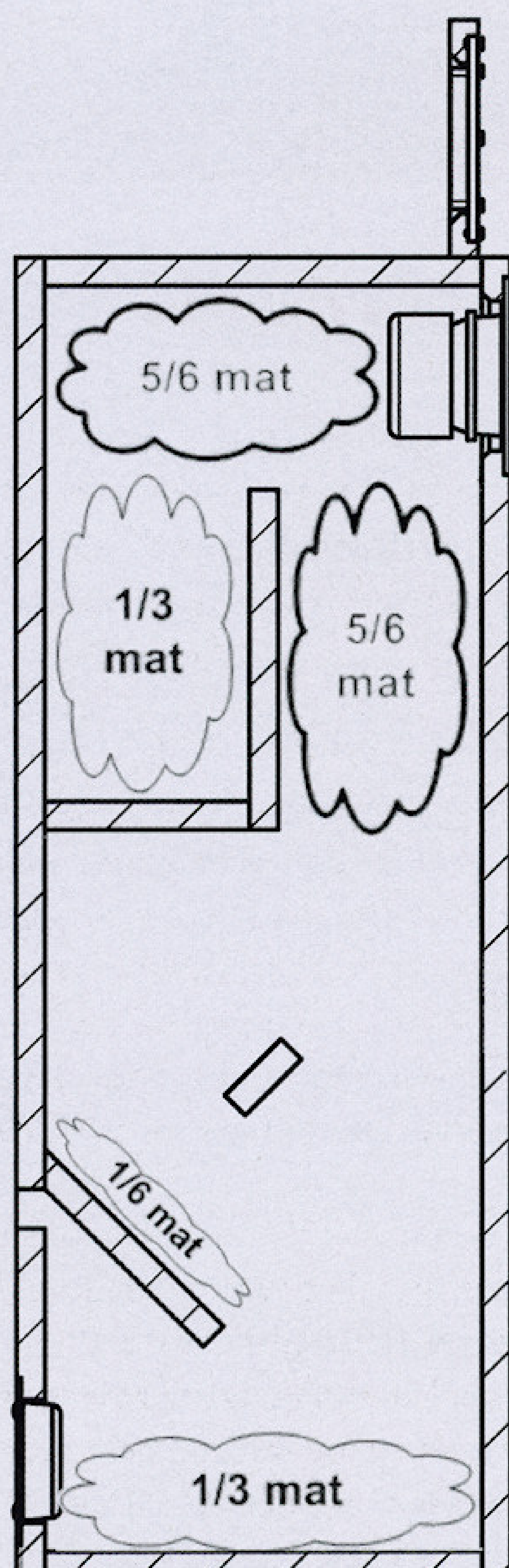
Het is de wens van een willekeurige audiofiel om aan al deze eisen, die van hemzelf en van zijn partner, te kunnen voldoen. Met een onbeperkt budget zou dat ongetwijfeld gaan lukken, maar voor rond de 200 euro per luidspreker wordt dat een stuk lastiger. Het hier gepresenteerde ontwerp probeert een betaalbare invulling te geven aan de wensen van menig audiofiel en zijn partner.

Keuze van drivers

Voor een luidsprekersysteem waar de lat zo hoog ligt als bij dit ontwerp is de keuze van de drivers extra belangrijk. Wat we hier zoeken zijn de krenten uit de pap, drivers die in het Duits zo poëtisch "ausnahmewandler" genoemd worden. Omdat voor dit systeem



Figuur 1
bouwtekening Hans

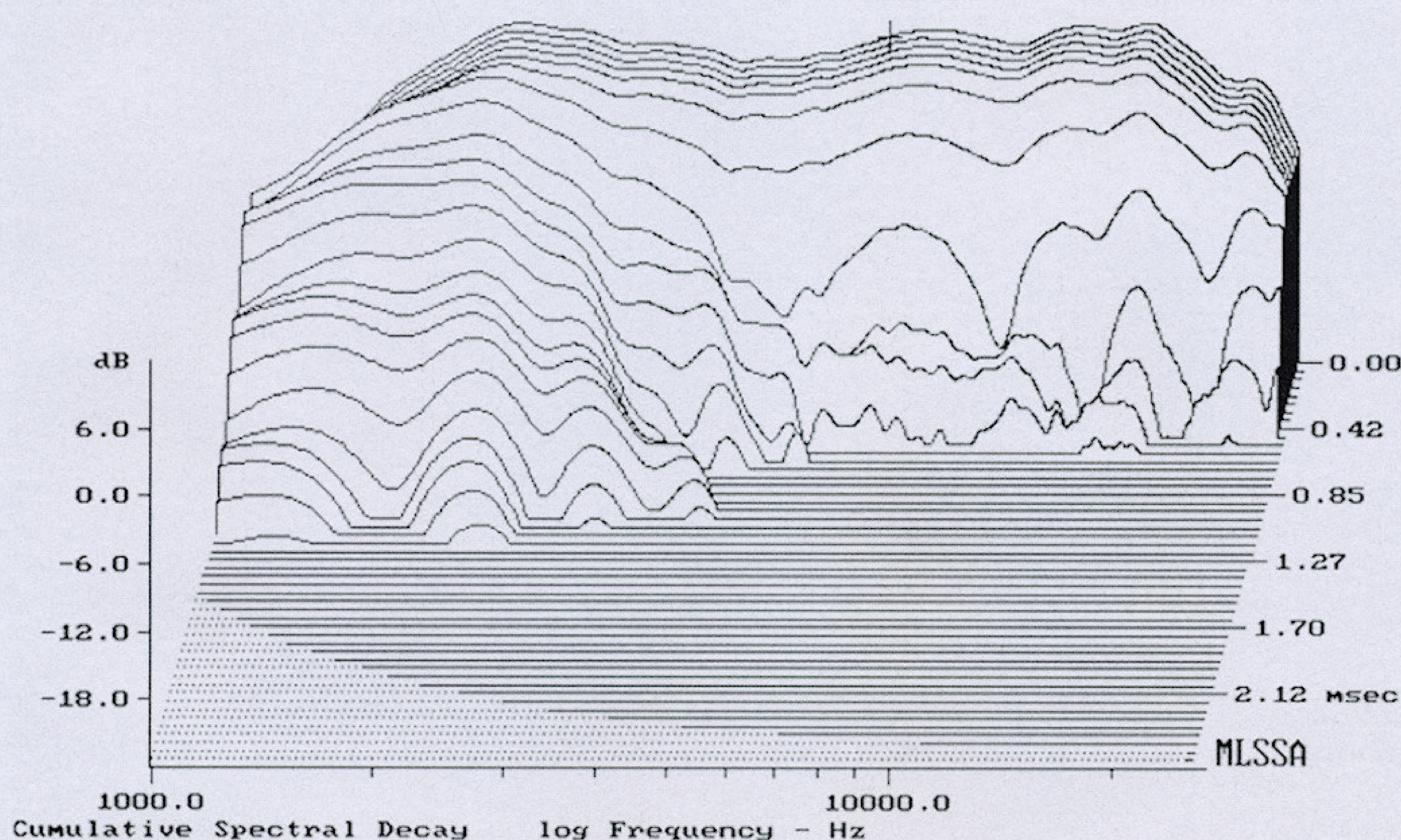


Figuur 2
indeling demping Hans

zowel compact als betaalbaar in de ontwerpdoelstellingen staan, kiezen we voor een tweeweg systeem. Dit betekent dat beide drivers; de tweeter en de midbas, dus een breed inzetbereik moeten hebben.

Voor de midbas is gekozen voor de CSS FR125SR. Deze 10 cm driver is eigenlijk een breedbander, maar de baseigenschappen van deze Canadees zijn, mede dankzij de toegepaste XBL2 technologie, zo goed dat we niet om hem heen konden. Het feit dat de FR125SR als breedbander ontworpen is maakt het de ontwerper makkelijker om de frequentie waar de tweeter het gaat overnemen te kiezen. Doordat de diameter van deze driver beperkt is, zal ook tot hogere frequenties de afstraling onder een hoek nog goed blijven, iets dat voor een goede ruimtelijkheid van groot belang is.

Voor het hoog hebben we gekozen voor de Bohlender Graebener Neo3 PDR tweeter. In deze zogenaamde "planar magnetic transducer" is het een extreem dun en licht vlak membraan gemaakt van Kaladex/aluminium folie, opgespannen tussen neodynium magneten, dat voor de geluidsreproductie verantwoordelijk is. Dit membraan is vele malen lichter dan de conus/ spreekspoel/ophanging combinatie van een conventionele tweeter. Hierdoor is de weergave zeer zuiver, detailrijk en helder. Het excellente, resonantievrije gedrag van de Neo3 is goed te zien in het zogenaamde waterval diagram. Een ander kenmerk van de Neo3 tweeter is dat deze ook als dipool in te zetten is (de standaard vastgelijmde achterkant moet hiervoor verwijderd worden, dit kan eenvoudig met een dun mesje gebeuren zonder risico op het beschadigen van de driver). In deze con-



Figuur 3
Waterval Neo3 PDR tweeter

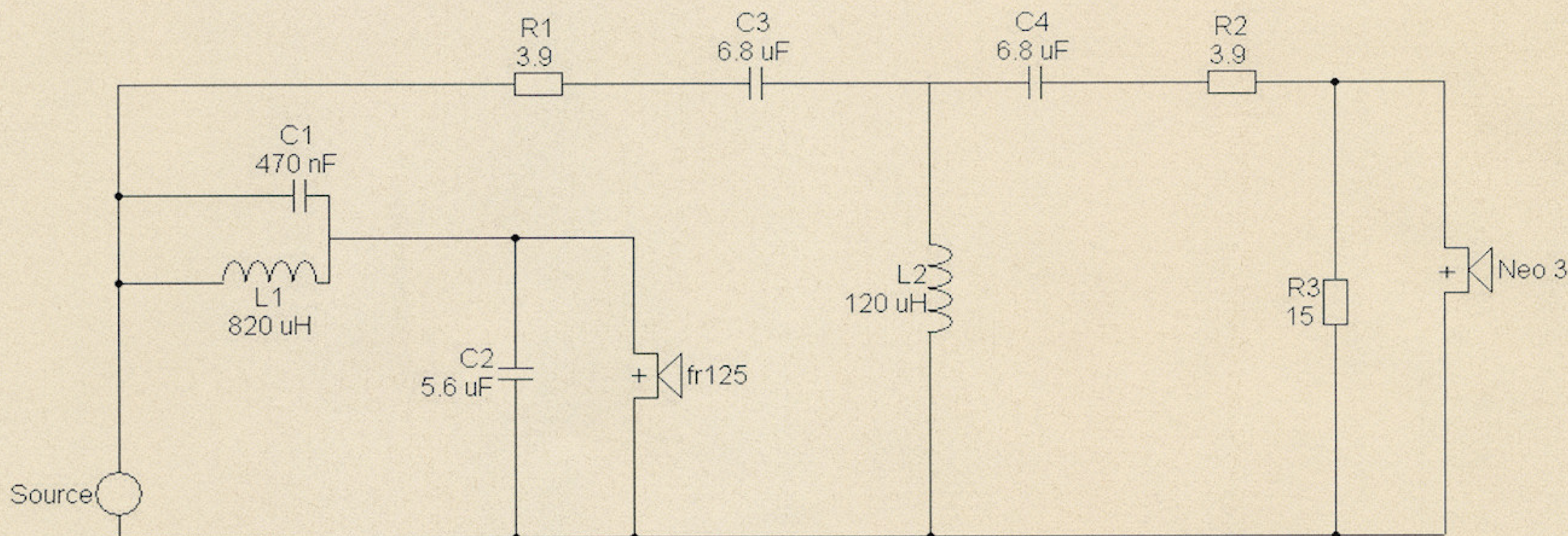
figuratie, die we ook voor Hans gebruiken, wordt het geluid zowel naar voren als naar achteren afgestraald. Het resultaat is dat transparantie van de hoogweergave nog verder verbetert, en dat de ruimtelijke plaatsing door de dipool weergave fenomenaal wordt. Net als de FR125 heeft de Neo3 PDR een groot inzetbereik en een geringe bundeling.

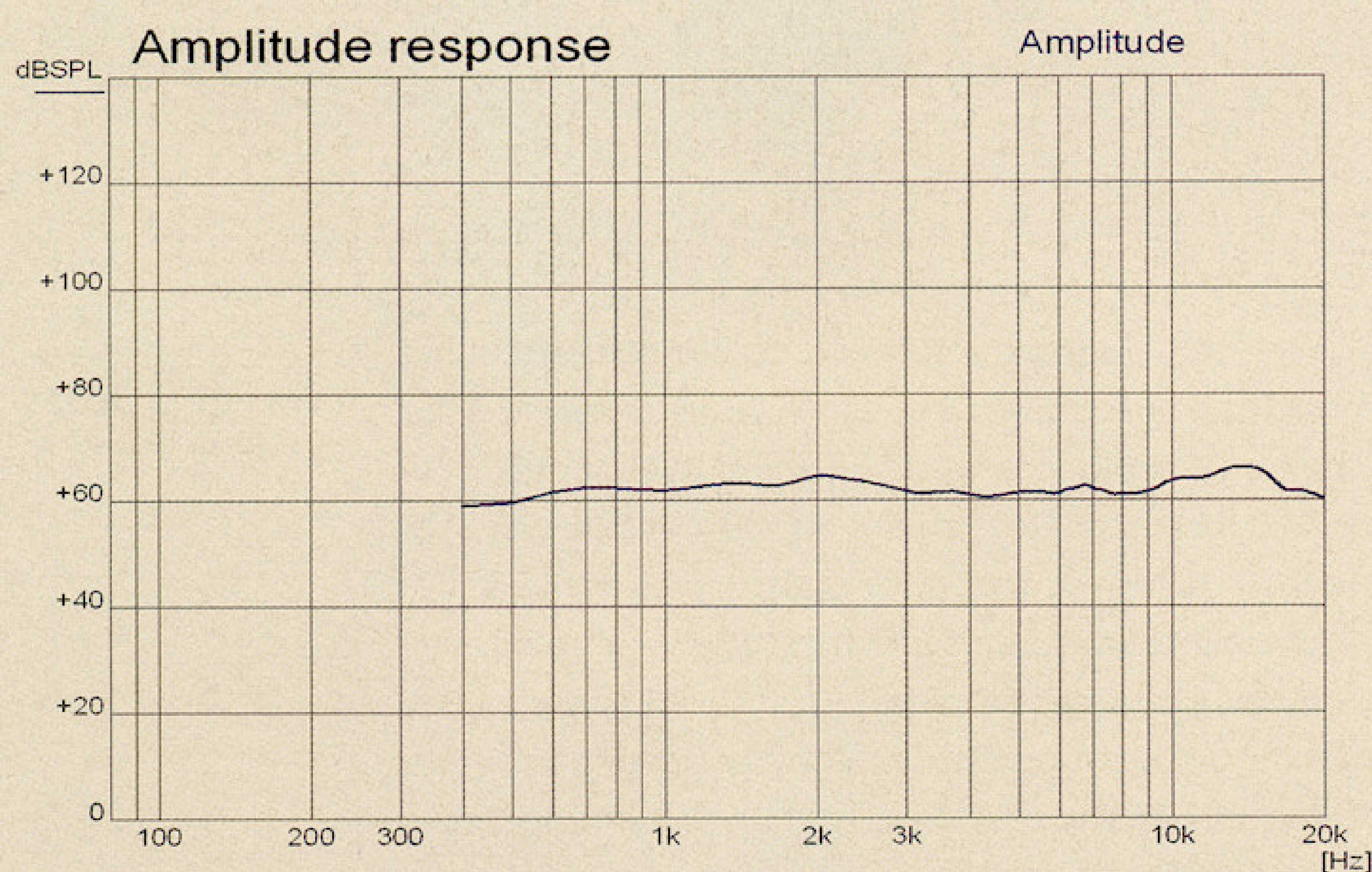
De kast

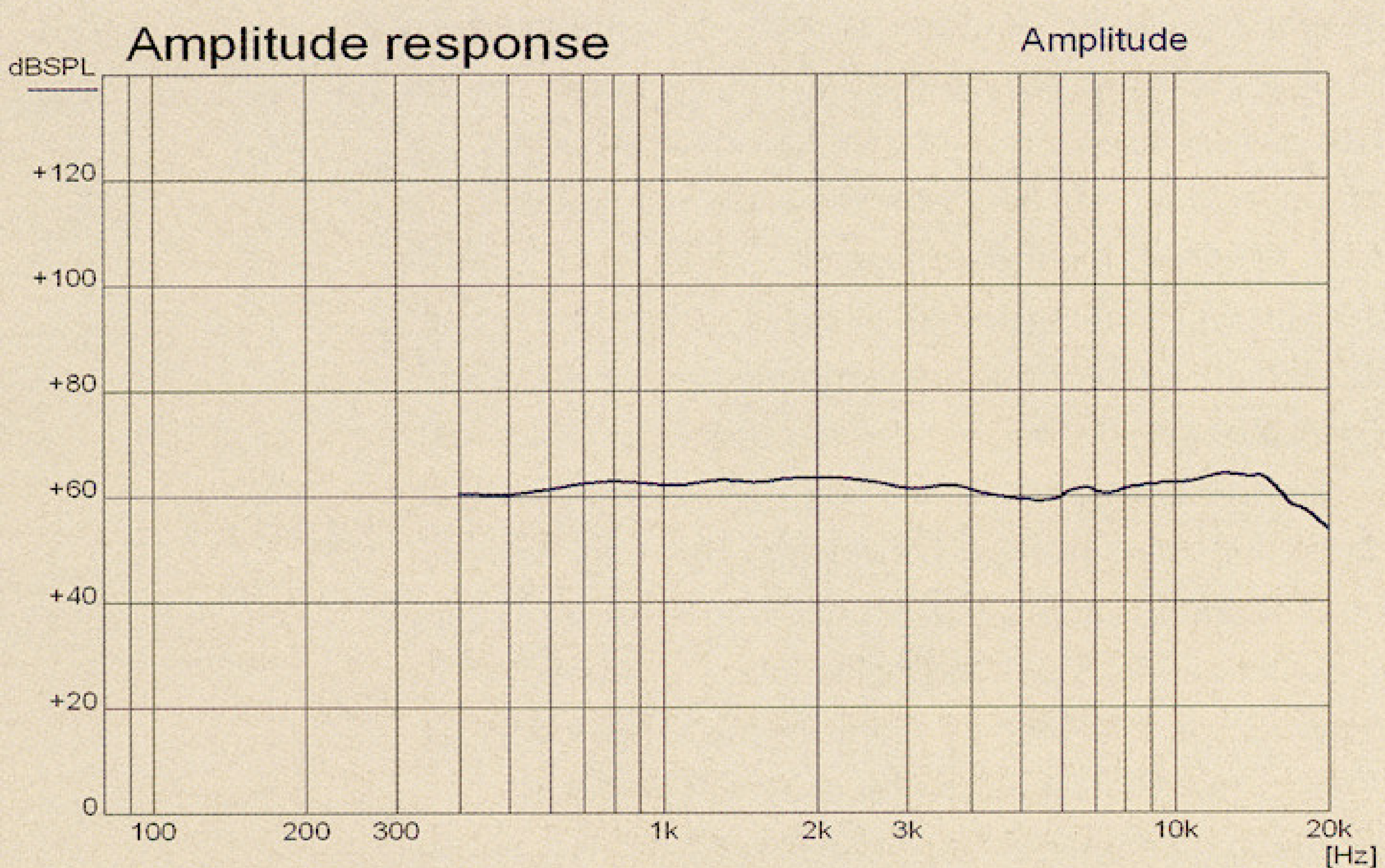
Juist omdat er met een kleine driver wordt gewerkt, is de kastvorm extra belangrijk om een goede laagweergave te verkrijgen. Gezien de parameters van de FR125 is een transmissielijn (ook wel TL genoemd) de beste behuizing. Een TL is bij uitstek geschikt om uit een kleine driver toch nog een fatsoenlijk laag te halen, meer zelfs dan wat verwacht zou mogen worden als je rekening houdt met het formaat van de driver. Het bekendste voorbeeld hiervan is waarschijnlijk wel de Needle luidspreker die in de Elektor Audio Special van 2006 is gepresenteerd, die presteert het om met een 8 cm breedbander vrijwel het hele muziekspectrum goed weer te geven.
Naast een excellente laagweergave, is een TL ook geroemd om het vrij van kastklank zijn van het hogere basgebied en lage midden. Dit omdat de backwave van de driver, in tegenstelling tot bij een gesloten of BR systeem, in het gebied boven de 110 Hz door het dempingsmateriaal in de lijn wordt geabsorbeerd.

Met een goed ontworpen TL is een laagweergave mogelijk die een volle octaaf lager gaat dan de eigenresonantie van de driver. Het ontwerpen van een goed klinkende TL heeft echter wel wat meer voeten in de aarde dan een BR of gesloten kast. Er zijn bij een TL immers veel meer vrijheidsgraden: de lengte van de lijn, de doorsnede van de lijn (die variabel kan zijn over de lengte gezien), de plaats van de driver, de hoeveelheid en plaats van de het dempingmateriaal, etc. Gelukkig is er de laatste jaren veel voortgang geboekt op het gebied van het theoretisch beschrijven van een TL (bijvoorbeeld door de bekende artikelen van M.J. King en het proefschrift van R.A. Robinson) zodat ook hier het ontwerpproces geholpen kan worden door gebruik te maken van afstemmingstabellen en simulaties, zoals dit bij BR kasten al vele jaren het geval is.
Voor dit ontwerp is gekozen voor een sterk tapse uitvoering van de lijn, met de driver op 1/3 van de lengte van de lijn. Door de demping te concentreren in het gesloten deel van de lijn is het gelukt om de frequentieweergave van het complete systeem mooi vlak te laten verlopen; onderin de kast is nog een hoeveelheid demping geplaatst om de output van de poort op het juiste nivo te brengen (hiermee kan de laagoutput nog wat op smaak worden gebracht, zie het kader "Op Smaak Brengen"). De vorm van de TL van Hans is afwijkend van wat conventioneel is, dit is gedaan om uit het beschikbare kastvolume de optimale weergave te verkrijgen. Zo is de doorsnede aan het begin van de lijn kleiner dan in het midden, hier is de doorsnede constant, waarna er een sterke verjonging optreed aan het einde. In traditioneel ontworpen TL's is de verjonging van de lijn minder sterk, en gelijkmatig verdeeld over de lengte van de lijn. Met de traditionele aanpak was het ontwerp van Hans echter niet mogelijk geweest.
Het dempingmateriaal dat gebruikt wordt is gewoon BAF (bijvoorbeeld zoals verkocht onder de merknaam Sonofil) voor de volumedemping, maar een gelijkwaardig alternatief als langharige wol kan ook gebruikt worden.

In de bouwtekening is de opbouw van de luidspreker te zien. Het ontwerp is zo opgezet dat de opbouw ook voor de beginnende houtbewerker goed te doen is, het belangrijkste advies is om de kast eerst zonder lijm in elkaar te zetten om te kijken of alle onderdelen passen. Het goed op maat zagen van de planken is mogelijk nog het lastigste, als men zelf niet over een goede zaagtafel







Figuur 4
Filter Hans

Figuur 5
Meting Hans, 0-graden

Figuur 6
Meting Hans, 15-graden

beschikt kan dit bij de lokale bouwmarkt gedaan worden. Als constructiemateriaal is 18 mm dik MDF gekozen, omdat dit zowel akoestisch als optisch een goed resultaat garandeert (als alternatief is een goede kwaliteit multiplex, of eventueel spaanplaat, van gelijke dikte mogelijk). Voor de opbouw is geen bijzonder gereedschap nodig, lijmklemmen, een boormachine, evt. een decoupeer- of figuurzaag, een soldeerbout, en een schroevendraaier volstaan voor de montage. Voor het verzinken van de drivers is een bovenfrees met eventueel een mal aan te bevelen.

Om de kleuren van het in de stijl van De Stijl uitgevoerde ontwerp van Hans het mooist te laten worden, is het aan te bevelen de boxen met hoge kwaliteit verf of folie af te werken, waarbij ook de voorbereiding zeer belangrijk is omdat anders de lijmnaden waar de planken van de kast elkaar raken zichtbaar blijven.

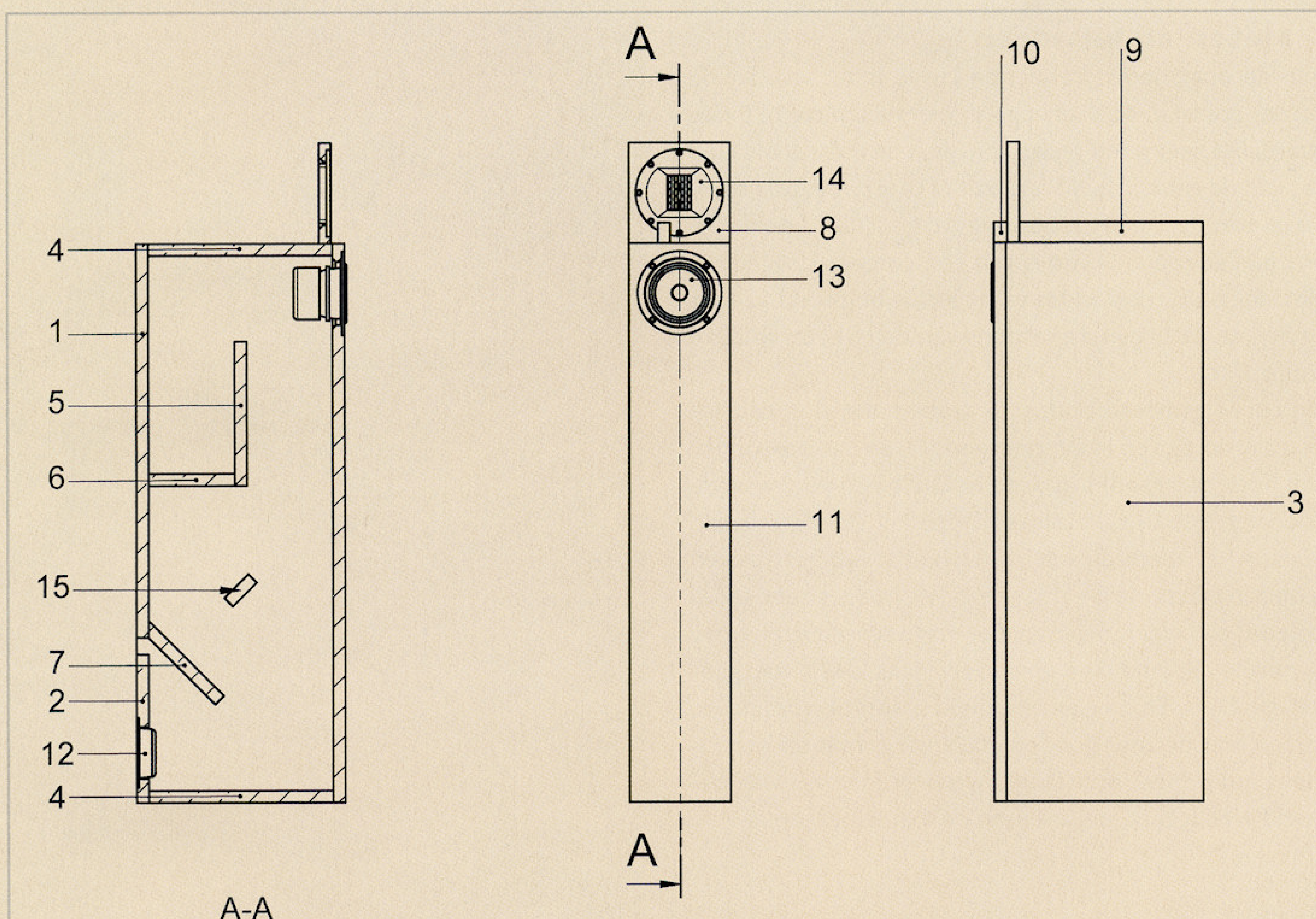
Het filter

Over het algemeen wordt er bij het ontwerpen van een luidspreker systeem naar gestreefd om de frequentiecurve zo vlak mogelijk te krijgen. Mede door het brede inzetbereik van beide drivers is dat hier uitstekend gelukt. De keuze voor de overname frequentie tussen de midbas en de tweeter is relatief hoog gekozen, deze ligt op 4 kHz. Deze keuze zorgt ervoor dat het hele middengebied door één driver wordt weergegeven en tevens zorgt dit voor een hogere belastbaarheid en lagere vervorming van de tweeter, met als toegevoegde bonus dat we de tweeter in kunnen zetten waar deze het beste presteert zoals te zien aan het waterval diagram.

Het brede inzetbereik va zowel de FR125 en de Neo3 hebben duidelijk invloed op de gekozen filtertopologie. Er is voor gekozen om relatief steil te filteren, 3e orde elektrisch voor de tweeter en 2e orde elektrisch voor de midbas. Deze filtering heeft er voor gezorgd dat het overname bereik waarin beide drivers aan het geluid bijdragen smal is, waardoor de fasecoherentie van het systeem geoptimaliseerd wordt. Zoals aan het filterschema is te zoen is de opbouw traditioneel 2e respectievelijk 3e orde, met uitzondering van de kleine condensator over de spoel voor de woofer. Deze condensator vormt met de wooferspoel een sperkring die de kleine bult die in de respons van de FR125 zit rond de 7 kHz onderdrukt; deze bult had anders de filterwerking verstoort.

Tijdens de ontwikkeling van het filter bleek dat de beste resultaten werden gehaald als de tweeter en de woofer 'time aligned' werden geplaatst: de afstand van het oor tot de akoestische centra van de drivers is dan gelijk, waardoor geen faseverschillen veroorzaakt door looptijdverschillen zullen optreden.

Voor de kwaliteit van de filtercomponenten geven we het volgende advies: voor de componenten gebruikt voor de tweeter bij voorkeur hoogwaardige condensatoren (bijvoorbeeld Clarity Cap SA) en een zeer goede spoel (bijvoorbeeld Jantzen Waxcoil) toepassen. Hier is de invloed op de klank door het gebruik van goede componenten het grootst, en de aanval op de portemonnee het kleinst. Voor het laag filter is het van belang om een spoel toe te passen met een lage interne weerstand en een lage vervorming. Bij voorkeur een luchtspoel met grote draad diameter zoals de Jantzen Aircoil met 1,6



Stuk Nr.	Aantal	Benaming	Materiaal	afmetingen	Opmerking
1	1	achterkant 1	18 mm mdf	589 x 114	
2	1	achterkant 2	18 mm mdf	222 x 114	
3	2	zijkant	18 mm mdf	836 x 293	
4	2	boven- en onderkant	18 mm mdf	275 x 114	
5	1	intern 1	18 mm mdf	215 x 114	
6	1	intern 2	18 mm mdf	129 x 114	
7	1	intern 3	18 mm mdf	159 x 114	1 kant 45° fase
8	1	tweeterbaffle	18 mm mdf	150 x 150	
9	1	extern 2	18 mm mdf	273 x 30	kleur: RAL 1026 Briljantgeel
10	1	extern 1	18 mm mdf	20 x 30	kleur: RAL 1026 Briljantgeel
11	1	baffle	18 mm mdf	836 x 150	kleur: RAL 3024 Briljantrood
12	1	Intertechnik T105 terminal	nvt		
13	1	CSS FR125SR	nvt		
14	1	Bohlender-Graebener Neo3 pdr met flushmount faceplate	nvt		
15	1	bracing	18 mm mdf	50 x 114	

benaming **hans**

datum 03 - 09 - 2008

maateenheid mm

formaat A4

plaatmateriaal: 18 mm

schaal 1:10

ZBA

Vrijgegeven voor niet commerciele zelfbouw.

tekeningnummer 2

Figuur 7
Zaagplan Hans

mm draaddiameter; de condensatoren in deze filtersectie kunnen gewone kwaliteit foliecondensatoren zijn, b.v. Clarity Cap APW. Als budget alternatief kan in het hoog filter een gewone luchtspoel en Clarity Cap PX condenstor gekozen worden, en voor het laag een goede kernspoel met ongeveer gelijke gelijkstroomweerstand als de hier toegepaste luchtspoel (een luchtspoel met dunnere draad is niet aan te raden vanwege de hogere gelijkstroomweerstand en de negatieve invloed op de basweergave daarvan).

Meten en luisteren

Aan de opgemeten frequentie curve is te zien dat de eerder gestelde doelstelling van een vlakke curve bij de overname zeer goed geslaagd is. Aan de individuele curves van de gefilterde drivers valt af te lezen dat de sommatie van de curves nagenoeg 'volgens het boekje' is, wat een goede indicatie is van een correct fasegedrag. Het kleine dal rond 8 kHz en de kleine bult rond 12 kHz zitten van nature in de respons van de tweeter in deze configuratie.

De curve gemeten onder 15 graden laat zien dat het afstraalgedrag van Hans zeer goed is, en dat ook onder een hoek de respons in orde is. Dit is een voorwaarde voor een goede ruimtelijke afbeelding van de muziek. Tijdens het luisteren valt al wat hierboven geschreven is op zijn plaats: de weergave van het hoog is zeer gedetailleerd en helder, maar zonder enige scherpte. Het laag is indrukwekkend diep en zuiver, Hans klinkt veel groter dan hij is. En de ruimtelijkheid is spreekwoordelijk, samen met de zeer goede detailweergave is elk instrument individueel plaatsbaar, we begrijpen nu wat bedoeld wordt met lucht tussen de instrumenten.

grootheid	waarde
Fs	70 Hz
Re	7.0 Ω
Sd	57 cm²
Vas	5,98 liter
Mms	4,6 g
BL	4,28 NA
Qms	3,37
Qes	0,2
Qts	0,59
Le	0,35 mH
SPL (1W, @1m)	85,5 dB
X-max (1 way)	6 mm

Tabel 1
T/S parameters woofer

Op smaak brengen

Eén van de voordelen van zelfbouw is, is dat zelfs binnen een kant-en-klaar ontwerp er nog variaties mogelijk zijn om het geheel helemaal perfect op de persoonlijke smaak af te stemmen.

Hoog

De hoogweergave kan naar smaak wat worden versterkt of verzwakt door de waarde van weerstand R3 aan te passen. Gebruik hiervoor de volgende tabel als richtlijn:

47 Ohm - +1 dB
15 Ohm - 0 dB (ref)
8,2 Ohm - -1 dB
5,6 Ohm - -2 dB

Laag

De laagweergave in de onderste octaaf is sterk afhankelijk van de luisterruimte. Vooral in wat kleinere ruimtes kan het daarom beter klinken als het onderste laag wat terughoudender is. Dit kan eenvoudig bereikt worden door de hoeveelheid dempingmateriaal onderin de kast te vergroten, tot maximaal drie maal de hoeveelheid die in de ontwerptekening is aangegeven.

Uiterlijk

Hoewel het design van Hans één van de positieve punten van het ontwerp is, kunnen we ons voorstellen dat het niet in ieder interieur past. Mits echter alle afmetingen gelijk blijven, is de bouwer vrij om hier te variëren naar eigen smaak. Ter inspiratie een ander design van Ewoud Luppens voor deze speaker.

[foto: alternatief design]

Specificaties

Naam:	Hans
Principe:	Tweeweg transmissielijn
Ontwerp:	Edo v.d. Laarse, Henkjan Olthuis
Design:	Ewoud Luppens
Drivers:	Bohlender-Graebener Neo3 PDR, CSS FR125SR
Filter:	Parallel filter, 2e orde met notch laag, 3e orde hoog
Afmetingen:	986 x 150 x 311 mm (hxbxd)
Prijs:	circa 200,- euro per stuk (drivers en filter)
Website:	http://www.juoiga.nl

Tweeweg Speaker

Cevio Line Array



DOOR ROLF HAHLE

Wat doe je als je voor een nieuw ontwerp een luidspreker driver nodig hebt die niet bestaat? Dan heb je de mogelijkheid om zelf iets te ontwikkelen, maar soms ligt een andere oplossing meer voor de hand. Bij de Duitse importeur van Vifa liep men al langer rond met een concept voor een line-array, maar ontbrak een geschikte driver. Door echter slim gebruik te maken van een aantal miniatuur ring-radiator drivers in een CNC gefreesde aluminium frontplaat kon men dit idee toch verwezenlijken.

Line-array

De line-array is een concept wat vooral bekend is vanuit de PA techniek, in kerken, verenigingsgebouwen, stadions etc. komt men slanke zuilluidsprekers tegen die voorzien zijn van een groot aantal gelijke drivers. De reden dat men een dergelijke opstelling van drivers gebruikt is het veel bredere horizontale afstraalgedrag dat hiermee mogelijk is. Hierdoor is niet slechts op één plek de tonale balans en stereoweergave juist, maar over een veel breder gebied. Iets wat de verstaanbaarheid en duidelijkheid, vooral in PA toepassingen, natuurlijk ten goede komt.

Toch zien we een dergelijk concept bijna niet toegepast worden in HiFi luidsprekers, terwijl ook hier dezelfde voordelen gelden. Met de Cevio Line Array probeert ontwerper Gerd Lommersum daar verandering in te brengen. Door gebruik te maken van een tweeweg systeem bestaande uit twee woofers en maar liefst acht tweeters is een compacte luidspreker ontworpen voor huiskamergebruik die de voordelen van een line-array combineert met de eisen die gesteld worden aan een hoogwaardige luidspreker voor HiFi.

Heel veel drivers

Niet minder dan tien drivers in een baffle van pakweg 22 bij 40 cm, dat is een ongewone configuratie. Voor de keuze van de midbas drivers kiest Lommersum bewust voor de High Definition Sound (HDS) drivers van Peerless voorzien van met Nomex vezels versterkt membraan. Nomex is de handelsnaam van fabrikant Dupont voor een kunstvezel met een extreem hoge treksterkte, zoals we bijvoorbeeld ook zien bij het bekende gele Kevlar. De toepassing van Nomex vezels in combinatie met geperst papier voor het membraan zorgt voor een zeer stijve constructie die goed vormvast is, maar wel nog enige inwendige demping heeft, zodat opbreekverschijnselen bijna niet optreden en de driver dus redelijk eenvoudig te filteren is.

Twee stuks HDS-N 5-25/08 worden hier toegepast in een basreflex configuratie. De '5' in dit typenummer staat voor de diameter van het membraan in inch, in dit geval dus ongeveer 14 cm. De '25' staat voor de diame-

ter van de spreekspoel in millimeter, 25 mm, en de '08' is uiteraard de nominale impedantie, 8 ohm, van deze drijver. In combinatie met een 18 liter basreflex behuizing produceren beide 14 cm middags drijvers voldoende druk in het laag om in de meeste woonkamers een prima laagweergave te realiseren.

De basis voor de toegepaste line-array van ringradiator drivers is de populaire Vifa XT300, een ringradiator voorzien van Neodymium magneet en een zeer compacte bouwvorm. Maar liefst acht stuks van deze drivers zijn gemonteerd op een lange, smalle CNC gefreesde aluminium frontplaat. De line-array is kant-en-klaar te bestellen onder typenummer ASE LA8/25XT, maar uiteraard kan de zelfbouwer ook zelf aan de slag met losse drivers en kan de frontplaat bijvoorbeeld uit aluminium, trespa of MDF gefreesd worden.

Behuizing

Met afmetingen van 22,5 cm bij 39,5 cm en een diepte van 31 cm is de Cevio Line Array met recht een compacte luidspreker te noemen, zeker gezien het aantal gebruikte drivers. De kast is feitelijk een recht-toe-recht-aan ontwerp opgebouwd uit 18 mm dik MDF plaat. Er is een extra schot voorzien van uitsparingen aangebracht dat de behuizing inwendig in tweeën verdeelt en voor extra versteviging zorgt. De 27 mm dikke frontplaat met daarin de uitsparingen voor de drivers wordt 'koud' op de kast gelijmd, waarbij de kast aan de voorkant een MDF paneel van 10 mm heeft zoals op de bouwtekening is te zien.

De gebruikte bas reflex pijp wordt aan de achterkant gemonteerd en is van het type BRT 68/220, met een diameter van 68 mm en een lengte van 22 cm, ingekort tot een lengte van 12 cm. De basreflex pijp kan het best gepositioneerd worden recht boven het versteviging-schot en wordt bij voorkeur met dik plakvilt of tapijt bekleed om ongewenste resonanties tegen te gaan. De behuizing zelf wordt aan de binnenkant luchtig opgevuld met BAF (Sonofil).

Onderdelenlijst wisselfilter

L1 = 1,50-mH-kernspoel, Cu-ø1,0 mm,
Rdc circa 0,22 Ohm
L2 = 0,27-mH-stiftkernspoel, Cu-ø0,71 mm,
Rdc circa 0,25 Ohm
L3 = 1,00-mH-stiftkernspoel, Cu-ø0,71 mm,
Rdc circa 0,53 Ohm
L4 = 1,20-mH-stiftkernspoel, Cu-ø0,71 mm,
Rdc circa 0,61 Ohm
L5 = 0,27-mH-luchtspule, Cu-ø0,71 mm,
Rdc circa 0,43 Ohm
C1 = 37-µF-Elko, bipolair, 100 Vdc
(22 µF + 15 µF parallel)
C2 = 2,2-µF-MKT of MKP, 100 Vdc
C3 = 10-µF-MKT of MKP, 100 Vdc
C4 = 33-µF-Elko, bipolair, 100 Vdc
R1 = 10 Ohm, draadweerstand, 10 Watt
R2 = draadbrug, 0 Ohm
R3 = komt te vervallen
R4 = 3,3 Ohm, draadweerstand, 10 Watt

Wisselfilter

Het wisselfilter is geoptimaliseerd door middel van het simulatie pakket Netcalc. Hierbij zijn individuele metingen aan de drivers als uitgangspunt genomen. Zodoende komt men na simulatie en optimalisatie van het wissel-



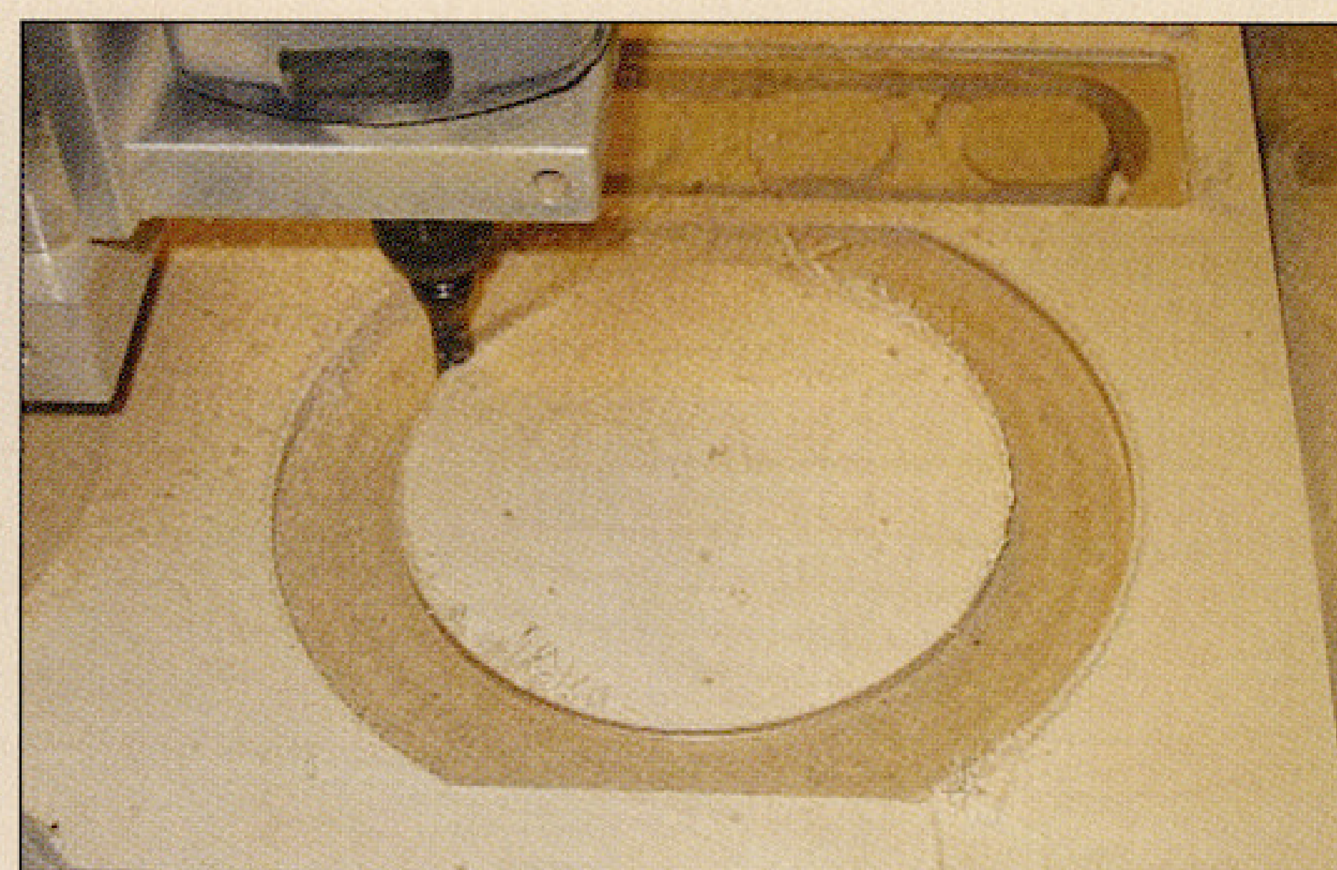
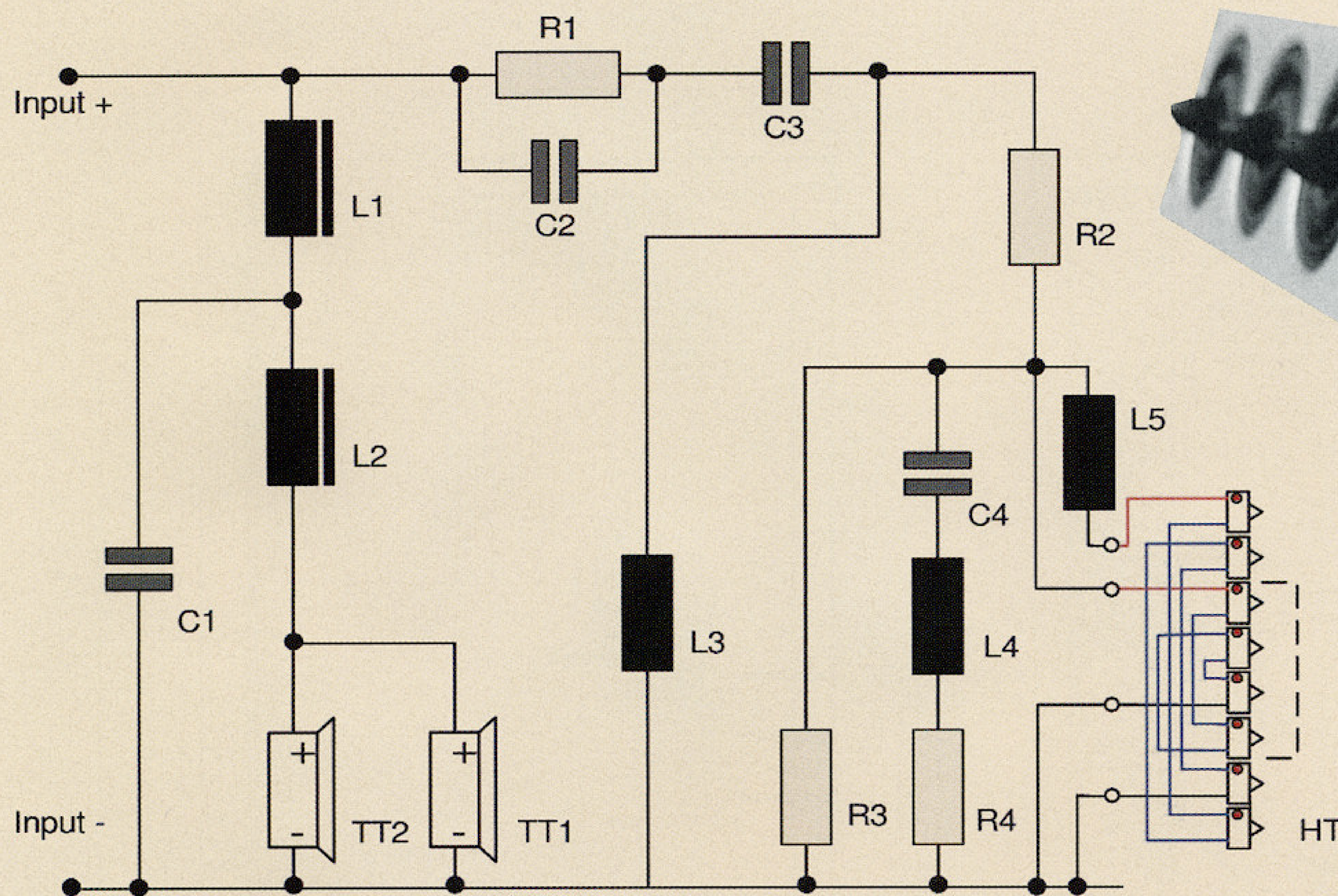




Foto 1 (links)
De baffle bestaat uit een sandwich van berkenmultiplex en MDF

Foto 2 (rechtsboven)
Voor een CNC-frees geen probleem, voor met de handfrezen is een sjabloon nodig

Foto 3 (rechtsonder)
De Peerless V-line midbas drivers hebben door de smalle korf een geringe inbouw breedte en zijn daarmee geschikt voor smalle behuizingen



Figuur 4
Het wisselfilter van de Cevio deelt de line-array op in twee aparte segmenten

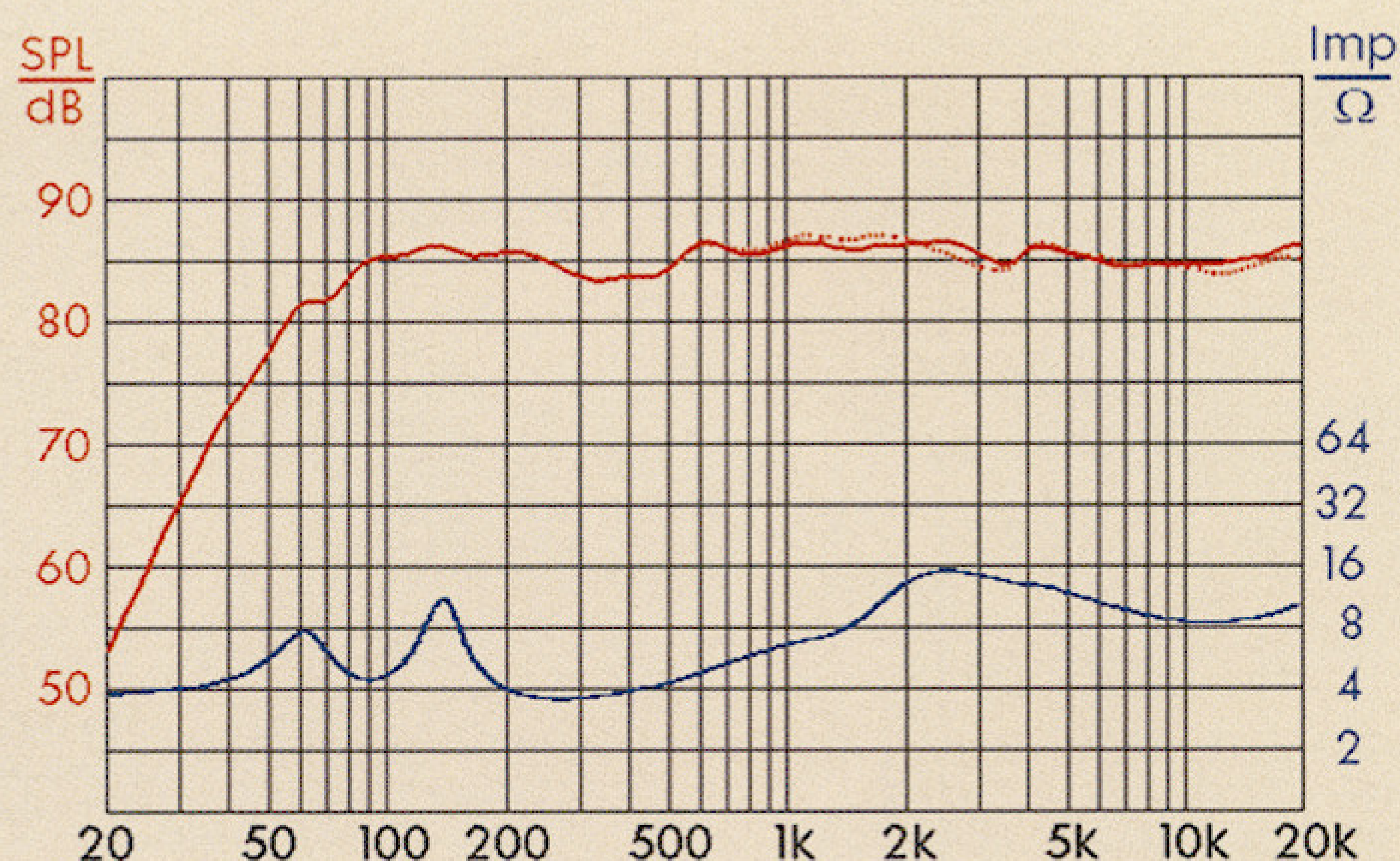
filter uit op een optimale filterwerking met een zo vlak mogelijke karakteristiek. De beide midbas drivers worden door middel van L1/L2 en C1, die samen een 3^e orde filter vormen, op 1,2 kHz gefilterd. De line-array van ringradiator drivers wordt in twee groepen opgedeeld. De buitenste vier drivers krijgen door middel van L5 vanaf 6 kHz nog een extra verzwakking mee. Daarmee is het filter voor het hoog feitelijk een 2^e orde filter met als extra een impedantie aanpassing in de vorm van R1 en een zuigkring bestaande uit netwerk C4/L4/R4.

Uit de metingen blijkt dat de frequentiecurve inderdaad voorbeeldig vlak te noemen is, ook het impedantieverloop laat geen verrassingen zien. De meting van de impulsweergave geeft duidelijk aan dat de line-array vrij is van ongewenste resonanties, iets wat ook goed terug te zien is in het waterval diagram. Kortom, het wisselfilter in combinatie met de drivers en de kast laten een prima indruk achter.

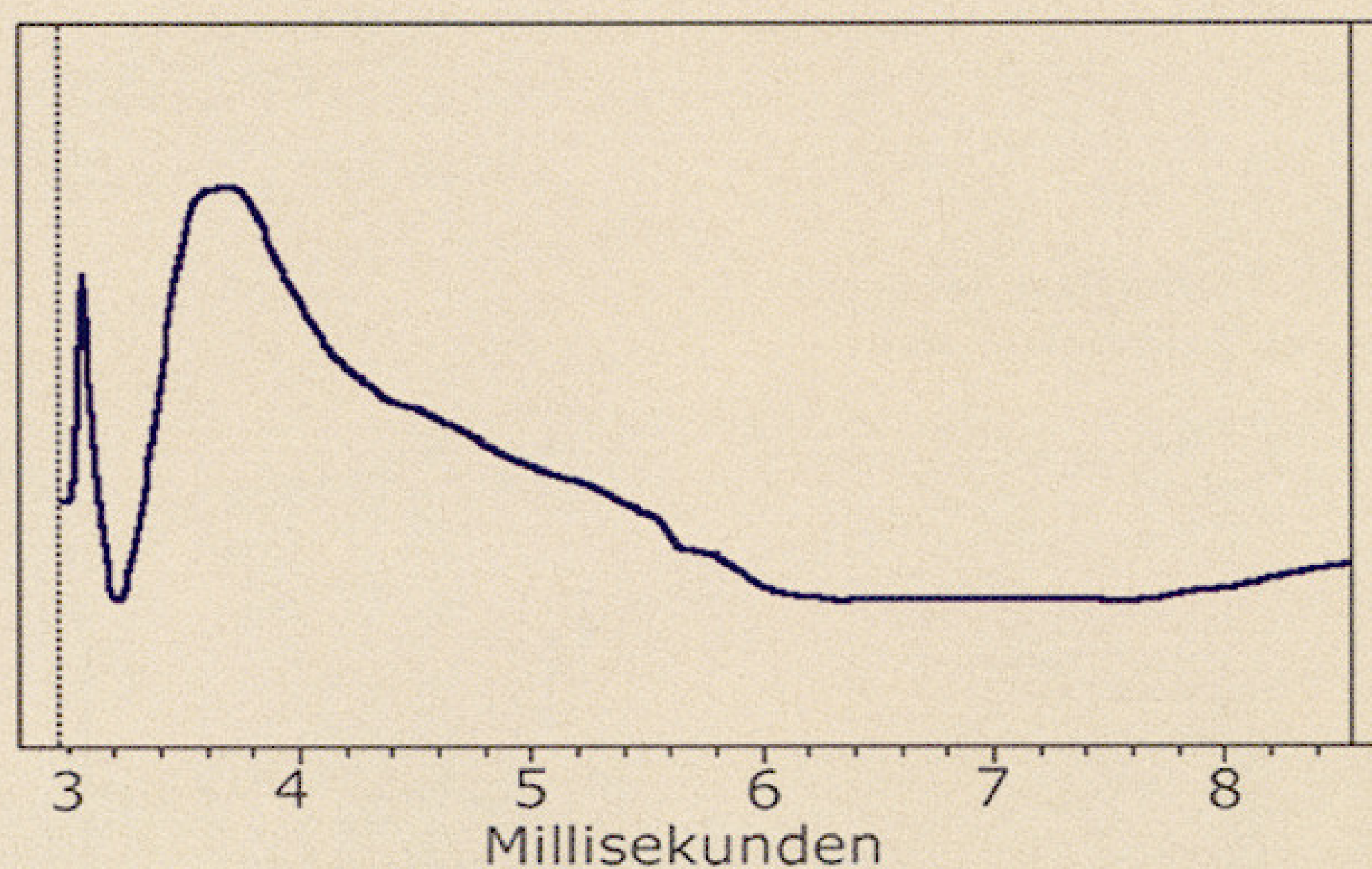
Luisteren

De ongewone driver bezetting van de Cevio Line Array zorgt ervoor dat de luisterervaring iets anders ervaren wordt dan bij een doorsnee luidspreker. Door de asymmetrische opstelling van de line-array is het afstraalgedrag natuurlijk niet symmetrisch. Als echter de luidsprekers zo opgesteld worden dat de line-array naar buiten en de beide midbas drivers naar binnen wijzen dan is hier een prima compromis te sluiten. De afstraling van het midden/hoog gebied is door de line-array vertikaal vrij smal, waardoor plaatsing naast een wand voor weinig problemen zorgt, de afstraling in het horizontale vlak is echter zeer breed. Ook de invloed van de luisterruimte op het afstraalgedrag van de Cevio Line Array is hierdoor een stuk kleiner dan bij een conventionele luidspreker. Door de brede horizontale afstraling is het vinden van een goede luisterplek eenvoudig, deze is ook veel breder dan bij normale luidsprekers. Echter vertikaal is er minder reserve voorhanden, opstaan of het hoofd richting de grond bewegen zorgt voor een duidelijke verandering in klankbalans.

Over het algemeen genomen laat de Cevio Line Array een capabele indruk achter, alle soorten muziek wordt met een overtuigend gemak weergegeven waarbij



Figuur 6
De frequentiecurve is voorbeeldig vlak

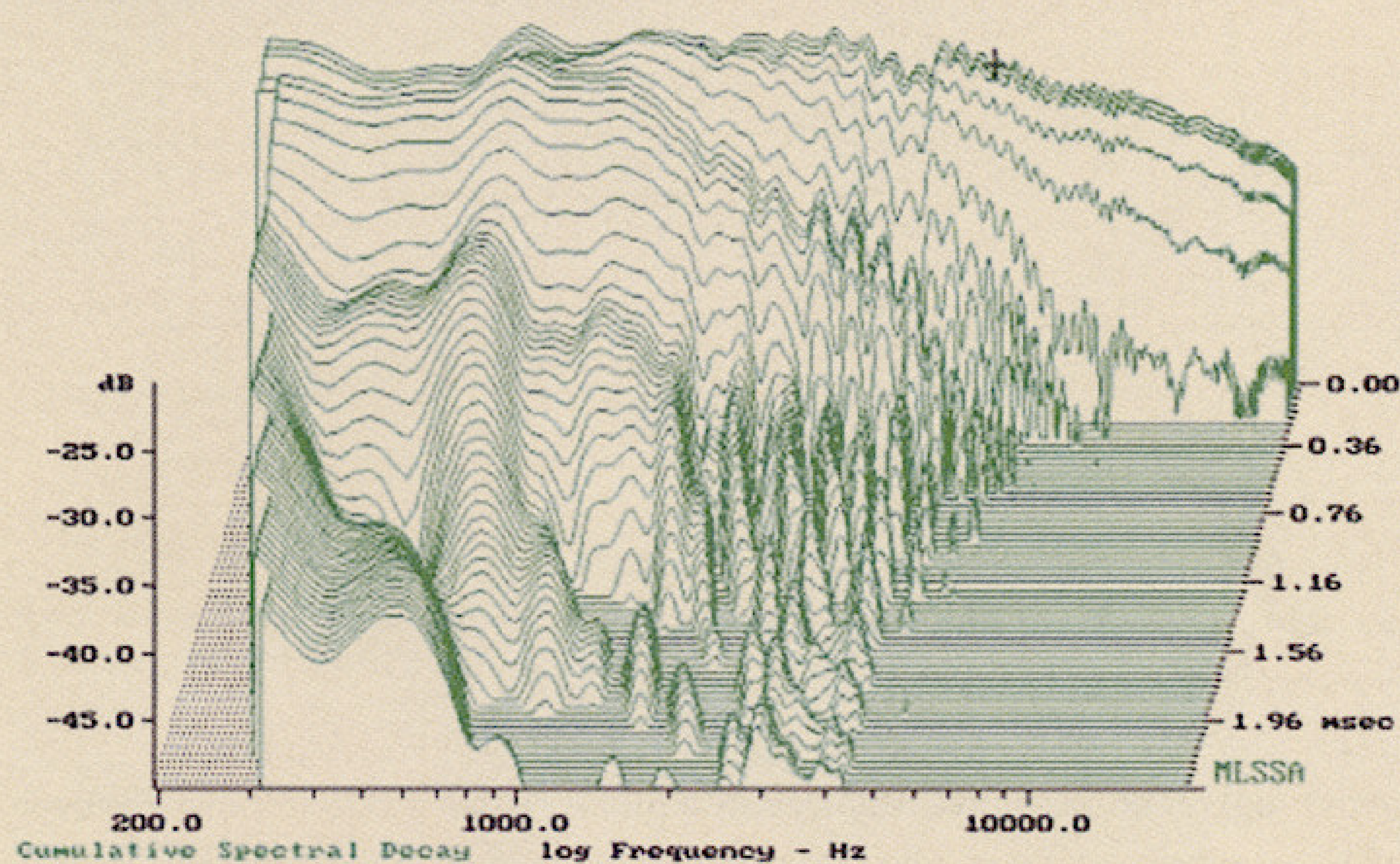


Figuur 7
De impulsweergave is vrij van resonanties

Figuur 5
De bouwtekening

Versteifung A
3 Polklemmenpaare
10 mm MDF Streifen zum Verschließen des Hochtonausbruchs
Versteifung A

Figuur 8
Het waterval diagram laat het zeer snel uitdempen van de line-array zien



opvalt dat er erg veel reserve voorhanden is. Nimmer klinkt de luidspreker geknepen, ook niet bij hoge tot zeer hoge volumes. Uiteraard is dit prima te verklaren door het feit dat in plaats van één driver er maar liefst acht stuks het zo kritische middengebied voor hun rekening nemen, waardoor er erg veel reserve voorhanden is en kleuring vrijwel afwezig is.

Specificaties

Naam: Cevio
Principe: tweeweg basreflex met line-array
Belastbaarheid: 120W (nominaal), 160W (muziek)
Ontwerp: Gerd Lommersum
Website: http://www.vifa.de
Tweeter: ASE LA 8-XT
Midbas: Peerless HDS-N 5-25/08
Wisselfrequenties: 1,2 kHz en 6 kHz
Afmetingen: 22,5 cm x 39,5 cm x 31 cm
Netto volume: 18 liter
Prijs onderdelen: circa 1400 euro

Tentlabs DIY CD-speler



Zelfbouw CD-speler met puristisch karakter

DOOR SANDER SASSEN

CD-spelers maakten tot enige jaren geleden deel uit van de portfolio van iedere gerenommeerde fabrikant van audio apparatuur, in de regel vertegenwoordigd door een instap-, een middenklasse- en een topklasse model. Door de populairiteit van de DVD-speler en vele goedkope DVD instapmodellen kwam hier echter al gauw verandering in, waardoor CD-spelers snel uit het zicht verdwenen. De Tentlabs DIY CD-speler is een zelfbouw CD-speler van Nederlandse bodem met een frisse benadering en herbergt in zich alle ingredienten om het medium CD weer van nieuw elan te voorzien.

Vreemde eend in de bijt

Als je voor de eerste keer de Tentlabs CD-speler aanschouwt dan is gelijk duidelijk dat dit geen CD-speler is van dertien in een dozijn. Alleen al de manier waarop de CD in de lade gelegd moet worden vertoont veel overeenkomsten met hoe decennia lang de naald op de plaat gezet werd. Ook de techniek die schuil gaat achter deze CD-speler is van een geheel andere orde dan het upsampling en oversampling geweld van de afgelopen jaren.

Guido Tent, de ontwerper van de Tentlabs DIY CD-speler, kiest er bewust voor om de geluidskwaliteit bovenaan de lijst met belangrijkste eigenschappen van deze CD-speler te laten prijken. De CD-speler heeft dan ook een aantal eigenschappen die op z'n minst uniek te noemen zijn, één ervan is uiteraard dat deze CD-speler als zelfbouw pakket wordt aangeboden, zodat de veeleisende hobbyist zelf aan de slag kan. Dit heeft uiteraard als prettige bijkomstigheid dat de CD-speler niet in een minimum oplage gebouwd hoeft te worden zodat de prijs voor het gebodene allezins redelijk blijft. Ook dat is een verademing tussen de veelal tegen absurde prijzen aangeboden CD-spelers die de Tentlabs DIY CD-speler als z'n concurrenten mag beschouwen. Met krap 2900 euro is de CD-speler geen koopje, maar gezien de benadering en de uitwerking van het ontwerp is deze prijsstelling wel te begrijpen; dit is een CD-speler van uitzonderlijke klasse opgebouwd uit puur topklasse onderdelen.

Non-oversampling

Vooral op het gebied van DA conversie is er de laatste decennia veel werk verzet wat goed te zien is in de mate waarin DA omzetters zijn geëvolueerd. Vandaag de dag is het in de regel 24-bits/192 kHz wat de klok slaat en



foto 2
Een blik op de geopende lade van de Tentlabs DIY CD-speler.

foto 3
De VFD display gezien vanaf de binnenzijde, met rechts het CDpro2M loopwerk.

foto 4
De DA omzetter van de Tentlabs DIY CD-speler, duidelijk herkenbaar zijn de beide Burr Brown PCM1704 DA omzetters.

wordt iedere digitale datastroom naar deze resolutie omgerekend. Dit proces, upsampling, heeft echter een aantal nadelen, want in de regel levert de bron 'slechts' 16-bits/44.1k Hz, en worden tussenstappen door middel van interpolatie of vergelijkbare technieken berekend. Dit proces voegt artificeel meer bits toe maar tegelijkertijd ook een berg jitter. Jitter is een versmering van digitale data in het tijdsdomein die eenmaal aanwezig vrijwel niet meer te verwijderen valt. Deze jitter heeft direct weerslag op de geluidskwaliteit en beinvloedt deze zowel hoor- als meetbaar.

Guido Tent kiest er in dit ontwerp dan ook voor om geen up- of oversampling toe te passen, de data vanuit het gerenommeerde Philips CDpro2M loopwerk wordt via i2s direct uitgelezen en omgezet in het dataformaat waar beide Burr Brown PCM1704 DA omzetters mee uit de voeten kunnen. Uiteraard wordt de data voor de DA omzetters nogmaals herklokt met de hoofdklok die ook het loopwerk van een exacte klok voorziet. Dit alles uiteraard om ervoor te zorgen dat alles exact synchroon loopt en jitter tot een minimum gereduceerd wordt. Iedere DA omzetter functioneert door middel van het 'stopped clock' principe waarbij de data serieel wordt ingelezen. De data wordt strikt gescheiden in een linker- en rechter datastroom aan de DA omzetters aangeboden, zodat de kanaalscheiding optimaal is.

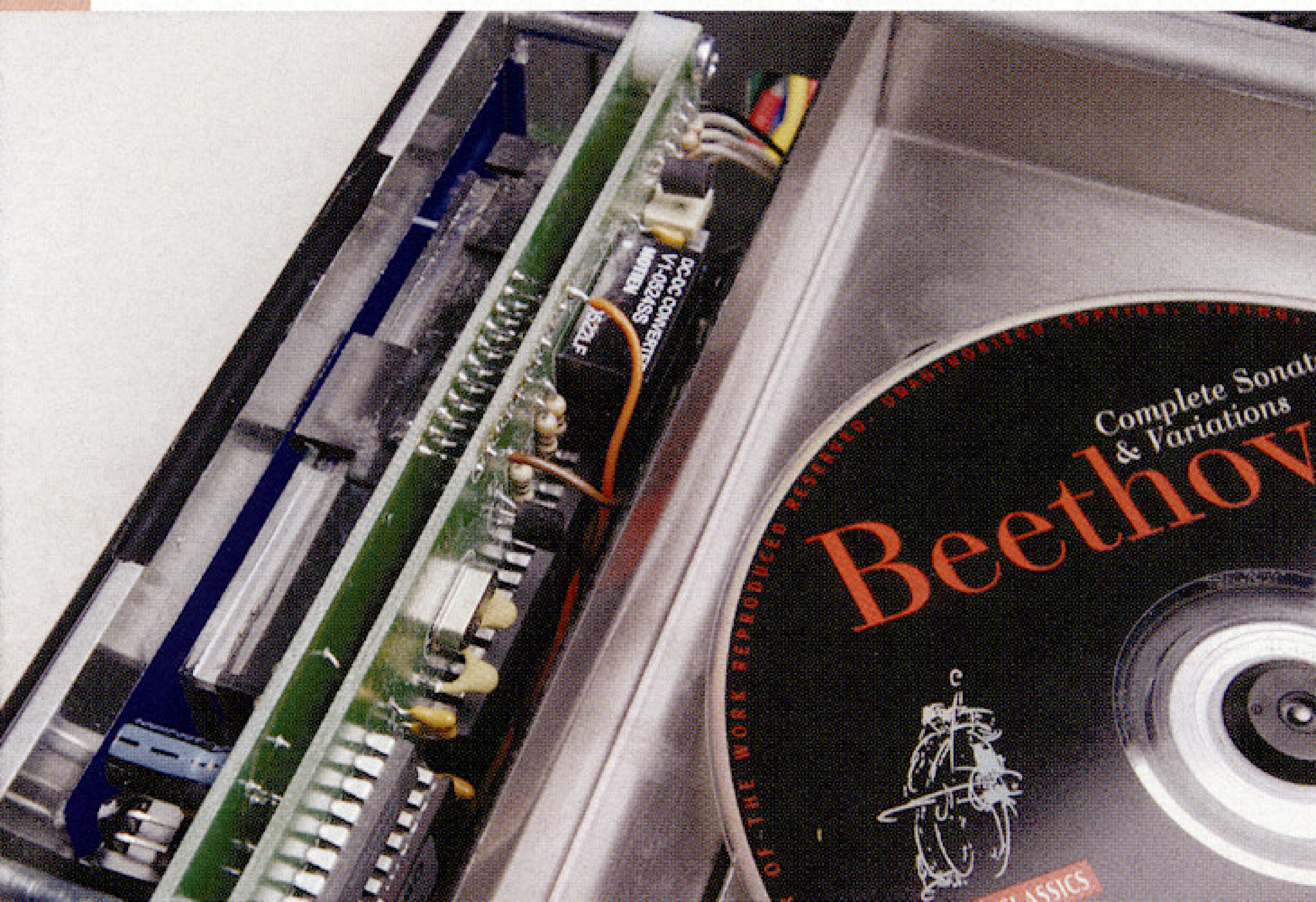
Stroom-spanning omzetting

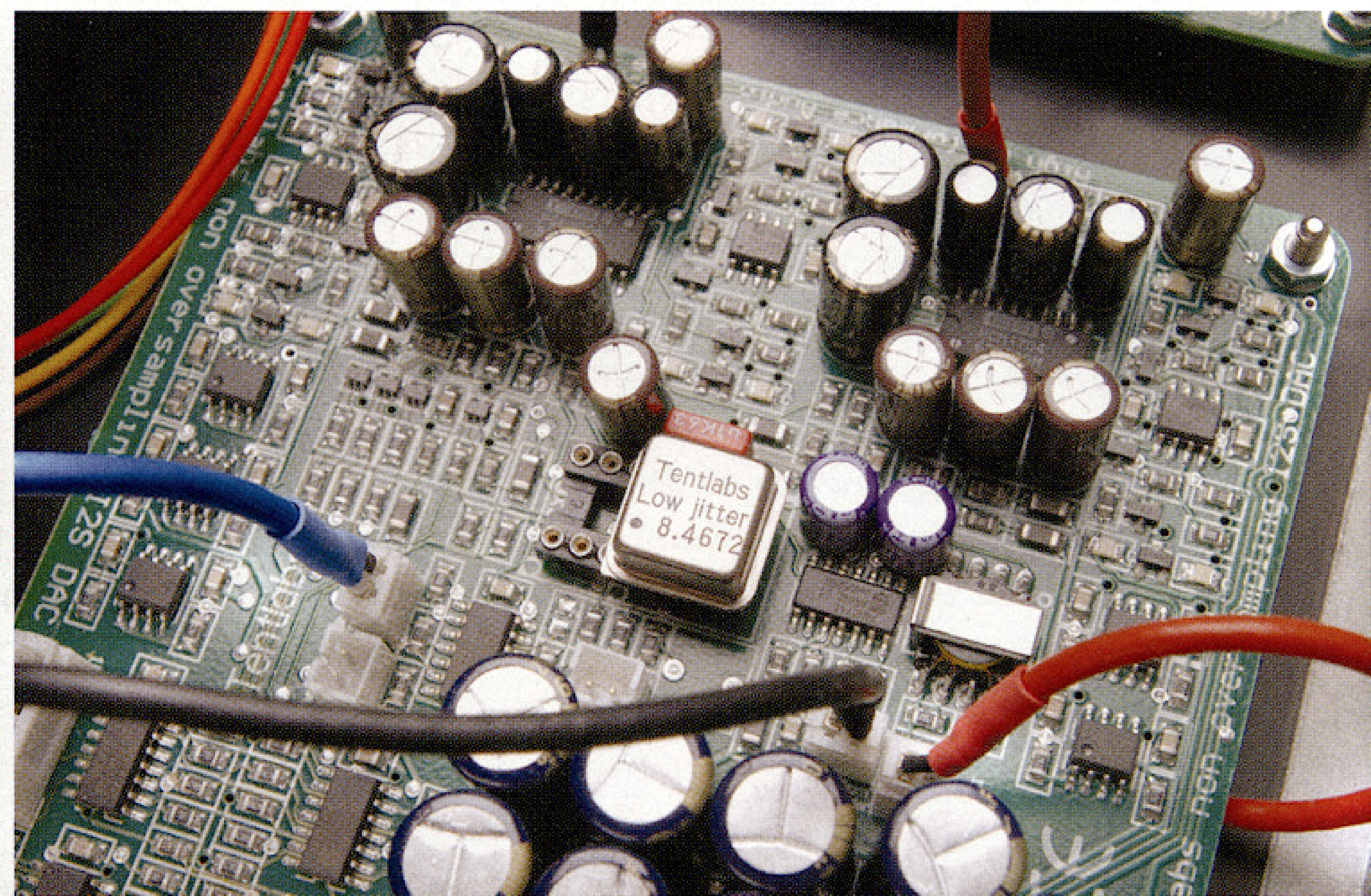
DA omzetters zijn in de regel voorzien van allerlei ingebouwde voorzieningen zodat met een minimum aan externe componenten de werking gegarandeerd kan worden. Normaliter is er een digitaal filter, een stroom-spanning omzetter en een analoge filter sectie ingebouwd, zodat met minimale inspanning een werkende DA omzetter te realiseren valt. De PCM1704 is een DA omzetter waarbij dit juist niet het geval is en de ontwerper dus de mogelijkheid heeft om op een aantal belangrijke punten, waar je bij een reguliere DA omzetter geen invloed op hebt, het onderste uit de kan te halen.

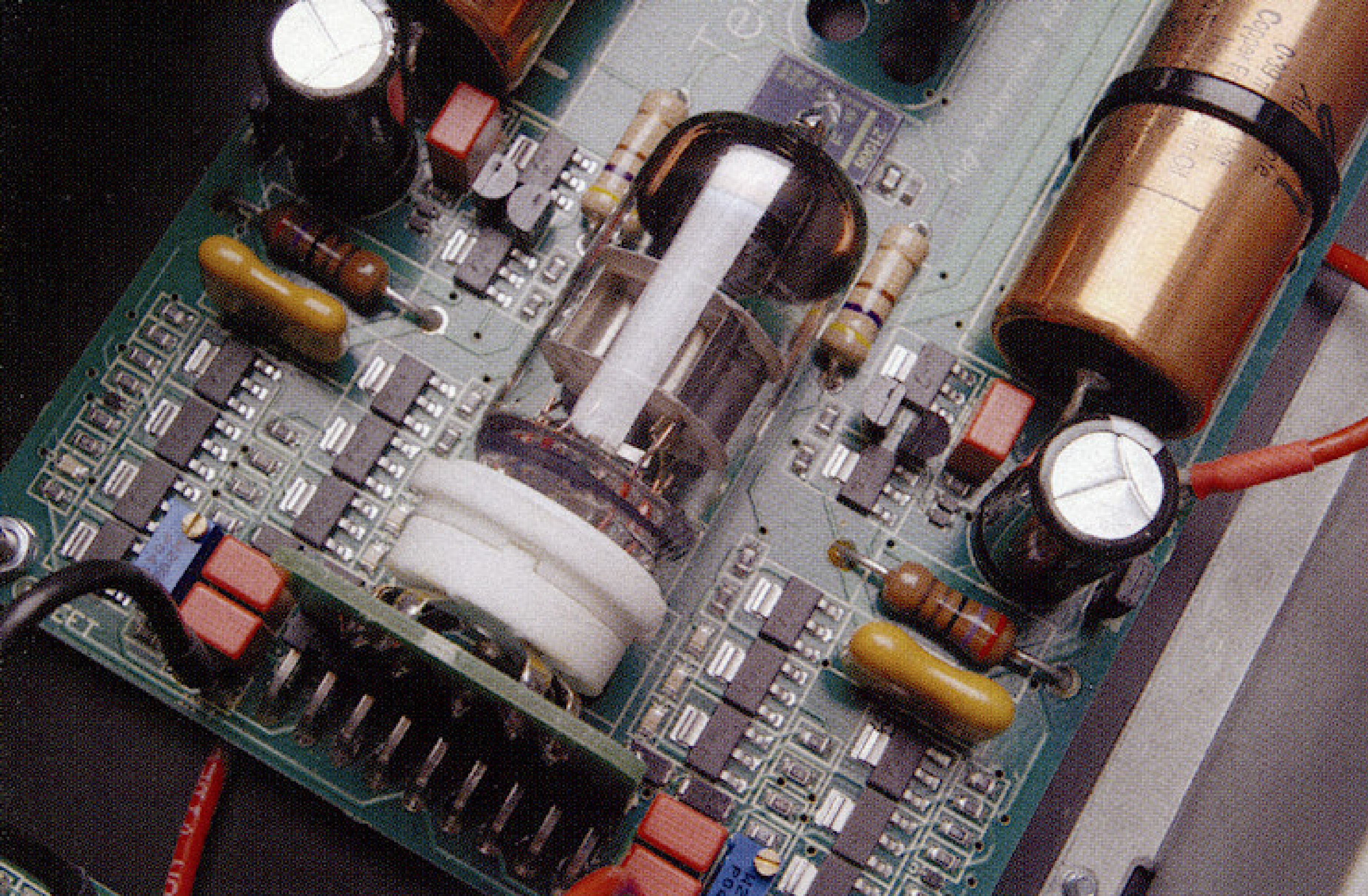
Een belangrijk punt is bij veel DA omzetters bijvoorbeeld de omzetting van stroom naar spanning, veel DA omzetters, waaronder de PCM1704, hebben namelijk een stroom uitgang. Uiteraard moet voor verdere versterking deze stroom eerst omgezet worden in een spanning. Deze omzetting heeft direct invloed op de uiteindelijke geluidskwaliteit daar eventueel hierbij geintroduceerde vervorming, ruis, niet lineair gedrag etc. in de rest van het ontwerp zal doorwerken. In de Tentlabs DIY CD-speler wordt hier op minitieuze wijze aandacht aan besteed en bestaat de omzetting uit een transconductantie versterker die door middel van één enkele transistor en een elektronenbuis zorgdraagt voor een precieze omzetting van stroom naar spanning met een absoluut minimum aan vervorming, ruis of andere ongewenste bijproducten.

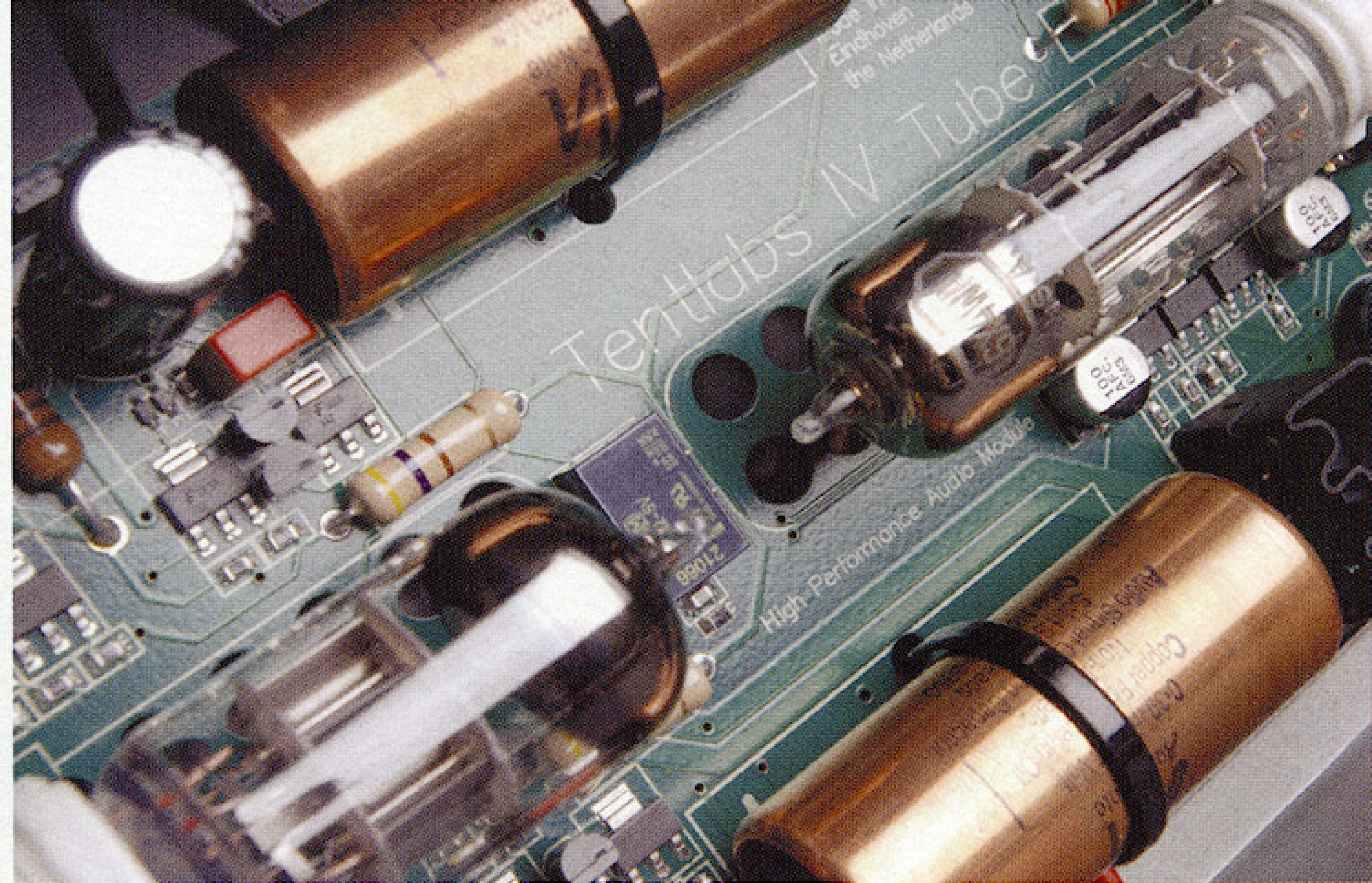
Goede voeding

Ook voor electronische schakelingen geldt dat de gestelde ontwerpeisen alleen gehaald worden als de voe-









ding geen spreekwoordelijk roet in het eten gooit. Ook hier is bij de Tentlabs DIY CD-speler uitgebreid aandacht aan besteed zodat ieder onderdeel van de CD-speler optimaal kan presteren. Waar nodig worden gescheiden voedingen ingezet die overspraak tussen de diverse delen verder reduceren. Uiteraard zijn alle voedingen gestabiliseerd en adequaat ontkoppeld en ontstoord zodat de ontwerper geen beroep hoeft te doen op de PSRR, power supply rejection ratio, van de erachter liggende schakeling. Waar nodig zijn zelfs shuntvoedingen toegepast zodat de voeding zelf garant staat voor een schone uitgangsspanning onafhankelijk van de ingangspanning, door de zeer hoge rimpelspanning onderdrukking van het shunt principe. Saillaint detail is bijvoorbeeld ook de toepassing van een buizengelijkrichter in de voeding van de in de stroom-spanning omzetter gebruikte elektronenbuis.

Opbouw en constructie

De Tentlabs DIY CD-speler is verkrijgbaar als kit, met een duidelijke handleiding en zal voor de gemiddelde zelfbouwer toch wel enige avonden in beslag nemen voordat de CD-speler volledig in elkaar gezet is. De montage op zich komt eenvoudig neer op het in elkaar zetten van de behuizing, het monteren en aansluiten van de diverse bestukte en geteste printen in de behuizing en vervolgens de diverse onderdelen van het lade mechanisme. Eén en ander wordt helder en duidelijk uiteen gezet in de 75 pagina's tellende handleiding, die door middel van een grote hoeveelheid detail foto's de zelfbouwer stap voor stap door het bouwproces leidt. Voor de zelfbouwer die toch liever een kant en klaar apparaat koopt biedt Tentlabs ook de mogelijkheid om een gebouwde Tentlabs DIY CD-speler tegen meerprijs aan te schaffen.

Luisteren

Een luisterervaring is in de regel lastig in woorden te vatten, niet in de laatste plaats omdat onze oren, maar meer nog onze hersenen, wennen aan een bepaald geluid. Luister je dus overwegend naar dezelfde installatie dan is een verandering meestal wel hoorbaar, maar duurt het toch wel even, in de regel enige dagen, voordat we de verandering op waarde kunnen schatten. Zo was het duidelijk dat de Tentlabs DIY CD-speler in de installatie van de auteur een subtiele verandering in het klankbeeld liet horen, maar waar precies en hoe dat te omschrijven is wat lastiger te verwoorden.

De beste omschrijving is er één van rust en detaillering. De Tentlabs DIY CD-speler heeft niet de bekende signatuur van doorsnee CD-spelers waar veel hoog en laag moet verbloemen dat er in het middengebied feitelijk weinig gebeurd. Dat is hier niet het geval, de detaillering is zowel in het laag, het midden als het hoog aanwezig. Ook de plaatsing in de ruimte van de diverse instrumenten, vooral bij klassiek, is exact en natuurgetrouw. De Tentlabs DIY CD-speler heeft echter ook geen moeite met andere muziekstijlen, het is feitelijk een alleskunner die nimmer details verbloemt maar deze met overtuiging weergeeft zonder opdringerig of artificieel te klinken, rust is daarbij een kernwoord dat de essentie van de Tentlabs DIY CD-speler als beste omschrijft.

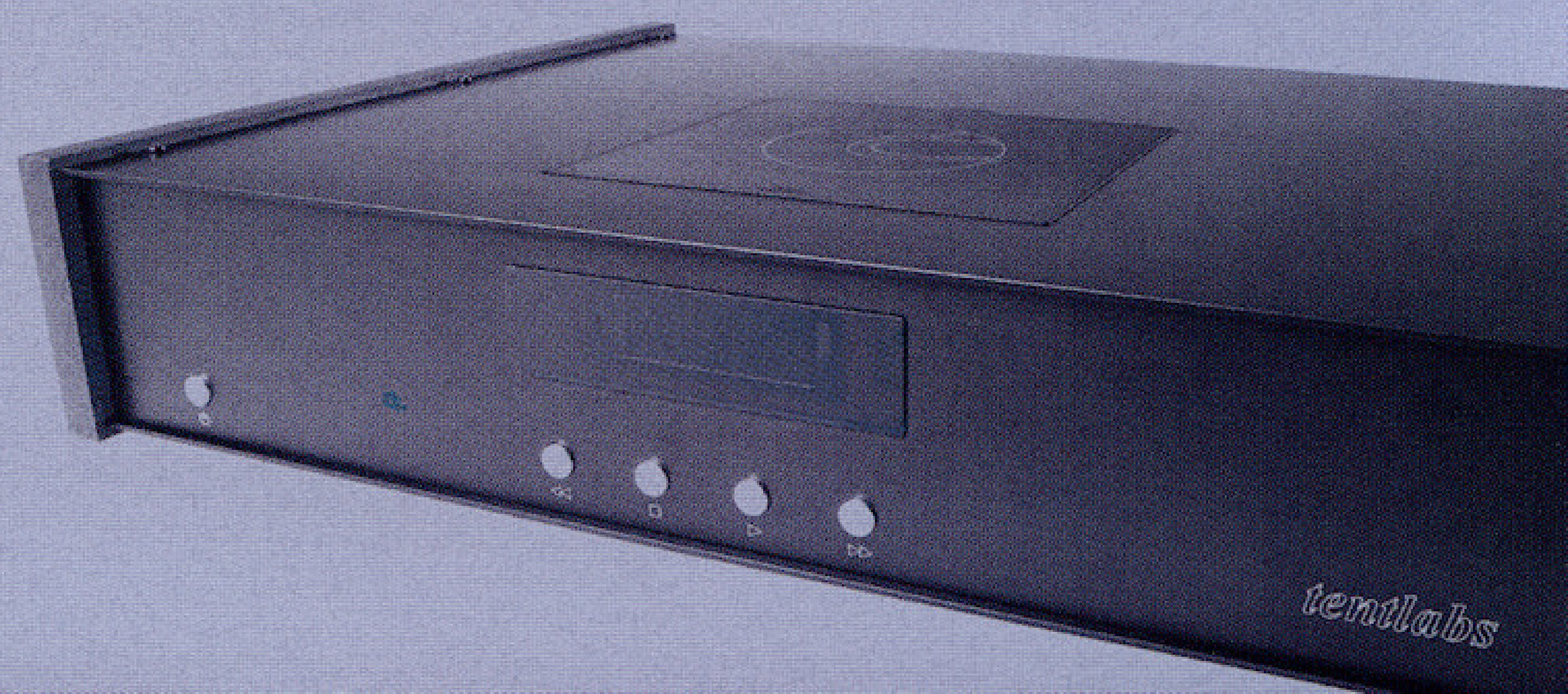
foto 5
De elektronenbuis zoals toegepast in de stroom-spanning omzetter.

foto 6
De voeding van de stroom-spanning omzetter, voorzien van buizengelijkrichter.

foto 7
De ringkern trafo's die de diverse onderdelen van de CD-speler van voeding voorzien.



Ontwerp: Guido Tent
Prijs: 2900 euro
Website: http://www.tentlabs.com





De compacte compagnon

Hypex SMPS180

DOOR BRUNO PUTZEYS

Eén van de meer opvallende verschijnselen op de klasse D markt is dat fabrikanten pas jaren na het verschijnen van hun eerste versterkermodules met de bijbehorende voeding klaar zijn. De Hypex SMPS180 is zo'n geval. Je zou nochtans verwachten dat schakelende voedingen intussen een volwassen techniek zijn. Dat is zeker waar, maar aan deze voeding kunnen we zien dat er voor audiovoedingen een aantal details flink herbekeken moeten worden.

Op het eerste gezicht ziet de voeding er vrij gewoon uit: een rij vermogenscomponenten tegen een aluminium balk, een trafo, elko's en een optocoupler. Het opvallendste verschil is dat de dikke elko's aan de secundaire kant staan. Aan de primaire kant zitten zelfs hoegenaamd geen elko's, op wat ontkoppeling na. Die keuze is het gevolg van twee eisen: ten eerste moet een audiovoeding bestand zijn tegen grote piekbelastingen van minstens twee keer het nominale vermogen. Dikke elko's op de uitgang zorgen er vanzelf voor dat de voeding enkel het gemiddelde vermogen moet overdragen, tenminste als de voeding stroomgeregeld is. De tweede eis houdt verband met "supply pumping". De meeste klasse D modules in HiFi toepassingen zijn namelijk halve brugschakelingen. Bij een gewone trafovoeding zijn de afvlakcondensatoren automatisch ruim voldoende om de spanningsrimpel tot beneden 20 Hz binnen redelijke grenzen te houden, maar bij een schakelende voeding staat er vaak zelden meer dan een paar honderd uF aan de secundaire kant.

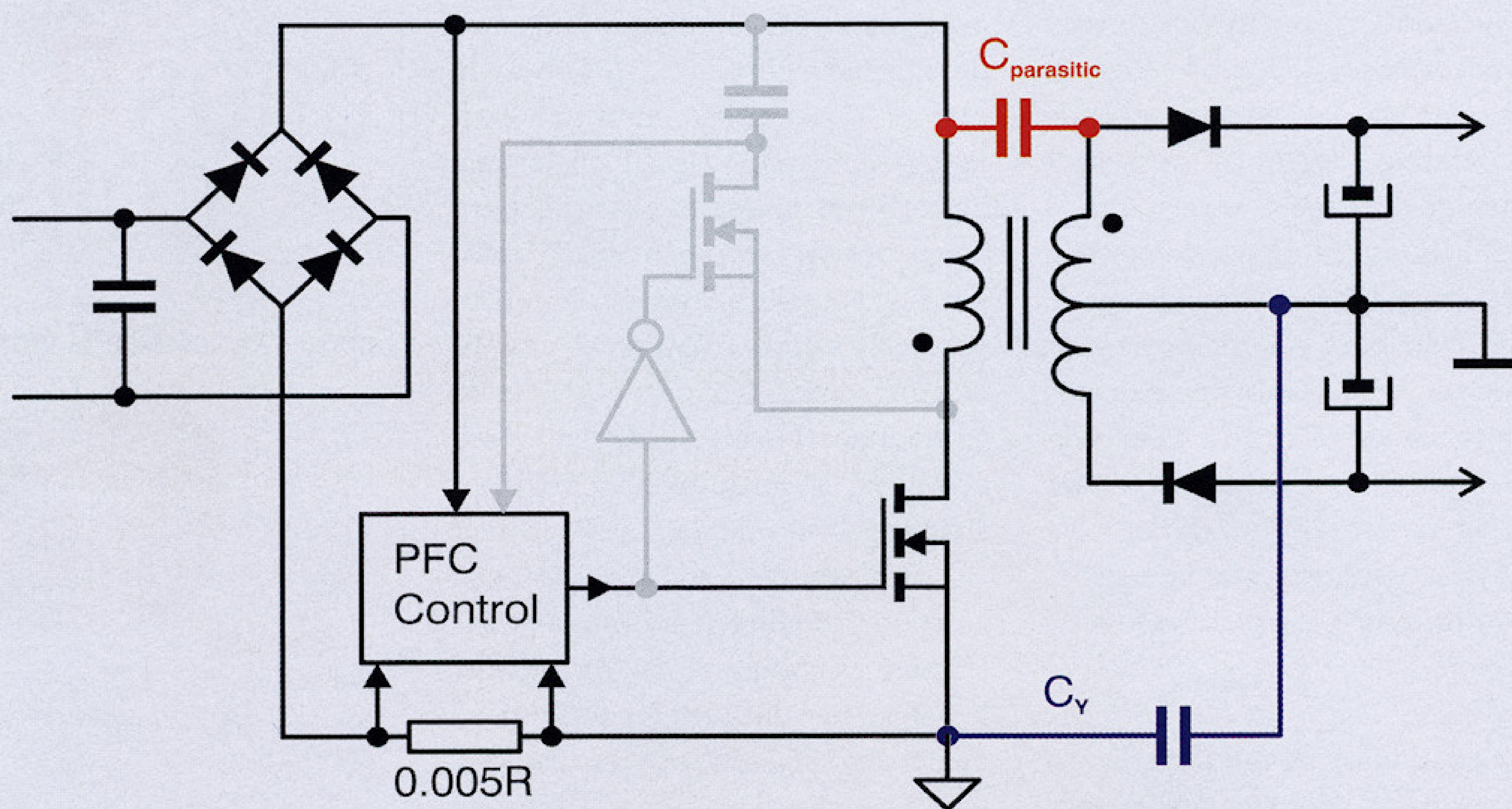
Basisschakeling

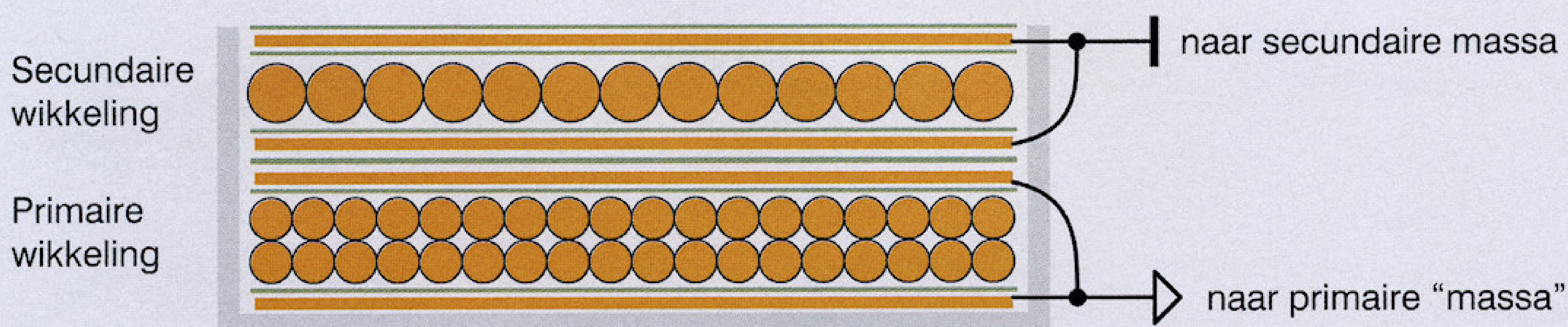
Als we vooropstellen dat alle energie-opslag secundair moet gebeuren, is de natuurlijkste keuze een galvanisch gescheiden PFC. In de praktijk is dat een flyback omzetter met een PFC regeling. Die zorgt ervoor dat er gedurende de hele netperiode energie geleverd wordt en dat alleen de gemiddelde uitgangsstroom geregeld wordt.

Dat de ingangsstroom ongeveer sinusoïdaal verloopt, is eerder een aangename bijkomstigheid bij voedingen van dit vermogen, want een wettelijke eis is er (nog) niet. Er is verder meteen van de gelegenheid gebruik gemaakt om de voeding geschikt te maken voor het hele spanningsbereik van 90 V tot 260 V, zonder dat daarvoor iets moet omgeschakeld worden. Dat maakt van de SMPS180 de eerste audiovoeding met universele ingang.

Trafo

Er is nogal wat werk gegaan in EMC. Hypex-modules staan erom bekend uitzonderlijk weinig te stralen (typisch is er iets van een 20 dB marge met de wettelijke





eisen). Een voeding mocht daar natuurlijk niet voor onderdoen. Het hele pakket aan ontwerptrucs uitleggen zou teveel plaats innemen, maar de trafo is toch de moeite van het vermelden waard. Die is voorzien van een dubbel elektrostatisch foliescherm tussen de primaire en de secundaire wikkeling. Of om het preciezer te zeggen: boven en onder de primaire en secundaire secties ligt telkens een elektrostatisch scherm dat naar de respectieve massa gaat.

Zonder die schermen worden de primaire en secundaire wikkelingen direct capacitief gekoppeld. Tussen de primaire en secundaire massa's onstaat dan een hoogfrequente spanningsbron van enkele 100 V in serie met een capaciteit van enkele tientallen of honderden pF. De gewoonlijke tegenmaatregel is een kortsluiting aan te brengen met een zogenaamde Y condensator. Die vormt een spanningsdeler met de wikkelcapaciteit en vermindert zo het probleem. Het nadeel van deze werkwijze is dat de Y condensator vrij groot moet zijn en dat die dus ook een grote lekstroom tussen het net en de secundaire aarde toelaat. Nou kunnen we net bij audio netvervuiling in onze audio-aarde missen als kiespijn, dus de oplossing met de schermen is wel de moeite waard. De ligging van de folieschermen blijkt trouwens ook voor optimalisatie vatbaar: de aanliggende schermen hebben telkens precies hetzelfde vertrekpunt. Een scherm is namelijk een open wikkeling waar ook spanning over staat. Door ze exact te laten overlappen, maken we het spanningsverschil tussen twee schermen nul. De SMPS180 voldoet daarmee zeer ruim aan de EMC eisen met minder dan 1nF tussen primaire en secundaire massa. Daarmee zou hij zelfs aan de strenge lekstroomeisen voor medische voedingen voldoen.

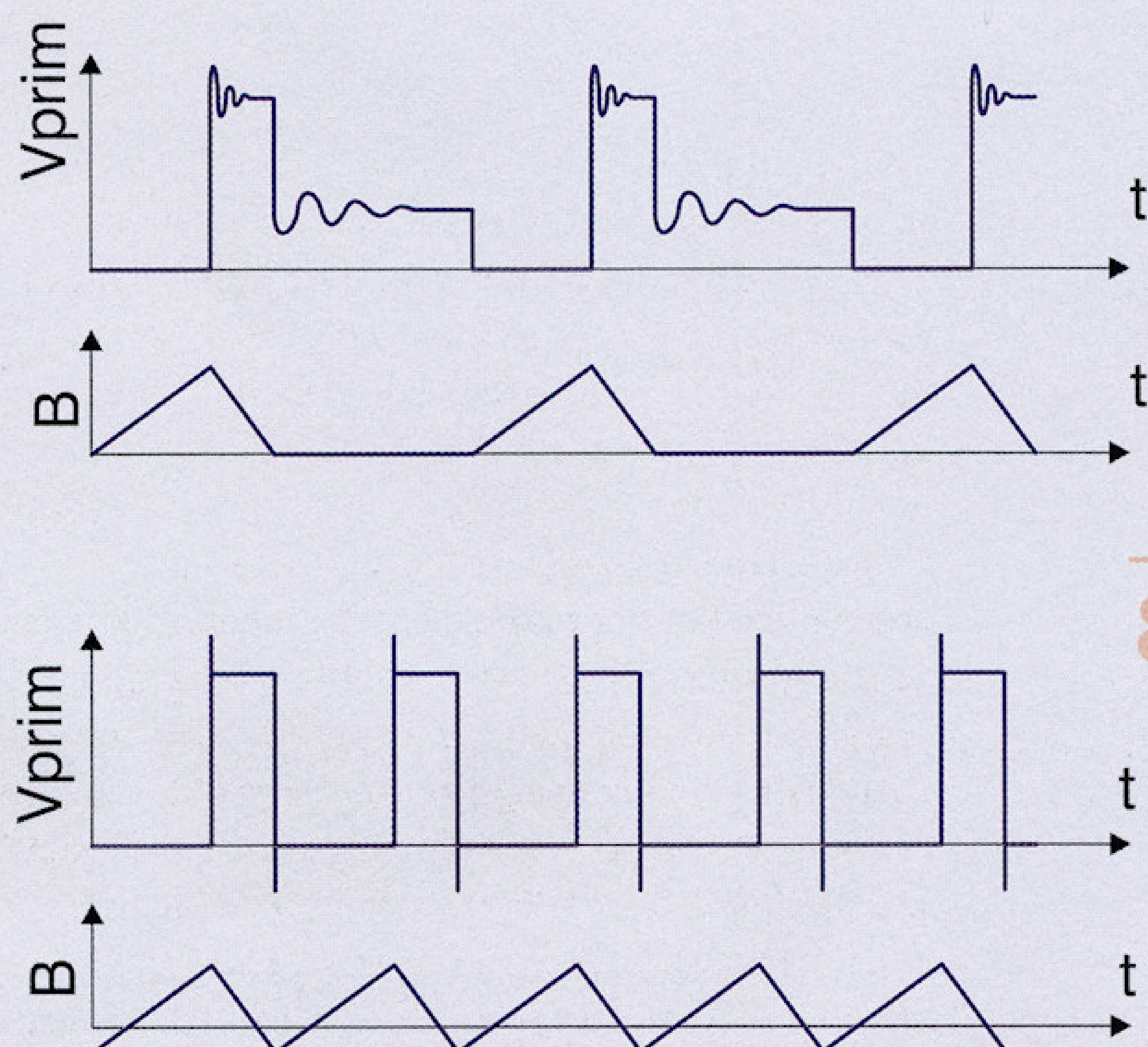
Actieve snubber

Daarmee moet voor de ontwerper de verleiding te groot geworden zijn om maar meteen een dubbel geïsoleerd ontwerp neer te zetten. Een aardingsaansluiting schittert door afwezigheid. Helaas is het gevolg dat de isolatie-afstand binnen de trafo meteen een stuk groter

Figuur 1
Principeschema van de SMPS180

Figuur 2
Sterk vereenvoudigd wikkelschema met dubbele elektrostatische afscherming.

Figuur 3
Spanning en magnetisatie bij nullast, met en zonder actieve clamp



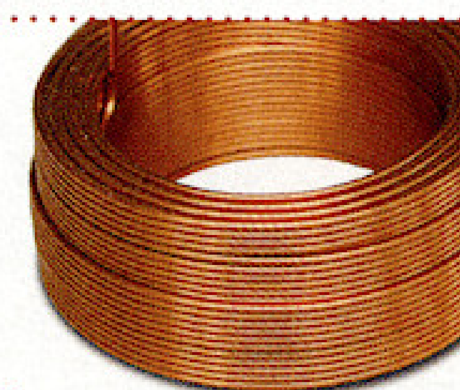
moet, wat zich uit in een grotere lekinductantie. Bij een flyback omzetter is dat gewoonlijk dodelijk voor het rendement, want de energie die in de lekinductantie terecht komt, wordt niet aan de secundaire afgeleverd. In de SMPS180 is dat opgelost met een "active clamp", een tweede primaire MOSFET die deze energie opvangt in een kleine condensator en ze tijdens de volgende halve cyclus weer vrijgeeft. Minstens zo belangrijk is het effect op het schakelgedrag. Een normale flybackschakeling gaat bij lage belasting met een veel lagere frequentie schakelen.

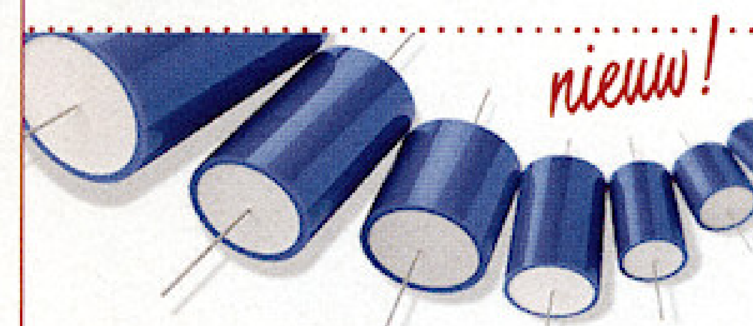
Dat is goed voor de nullastverliezen maar voor een audiovoeding nadelig want dan gaat de trafo hoorbaar ruisen. De actieve snubber zorgt ervoor dat de schakelfrequentie dezelfde blijft bij alle belastingen. De SMPS180 is vrijwel geruisloos.

Luisterproef

Op de werktafel gedraagt de SMPS180 zich als een prima vervanger voor de lineaire trafovoeding – de uitgangsrimpel is kleiner, de regeling strakker en de uitgang is kortsluitvast. Om na te gaan of hij het ook in een audio-context goed doet, volstaat alleen een luisterproef. In eerste instantie werd het prototype met een "HG" trafovoeding vergeleken, en dat liet grote verschillen horen. Om na te gaan of die niet enkel aan de verschillende componentkeuze kon liggen, werd een nogal originele tweede proefopstelling gebouwd: na de gelijkrichters van de SMPS180 werd in parallel een gewone trafo en bijbehorende gelijkrichting verbonden. Bij de luisterproef kunnen afwisselend de SMPS en de nettrafo ingeschakeld worden terwijl de versterker gewoon verderspeelt. Het resultaat is geruststellend: er was hoegenaamd geen verschil hoorbaar tussen de twee voedingen. De grote zorg die aan EMC besteed is, heeft zijn vruchten afgeworpen.

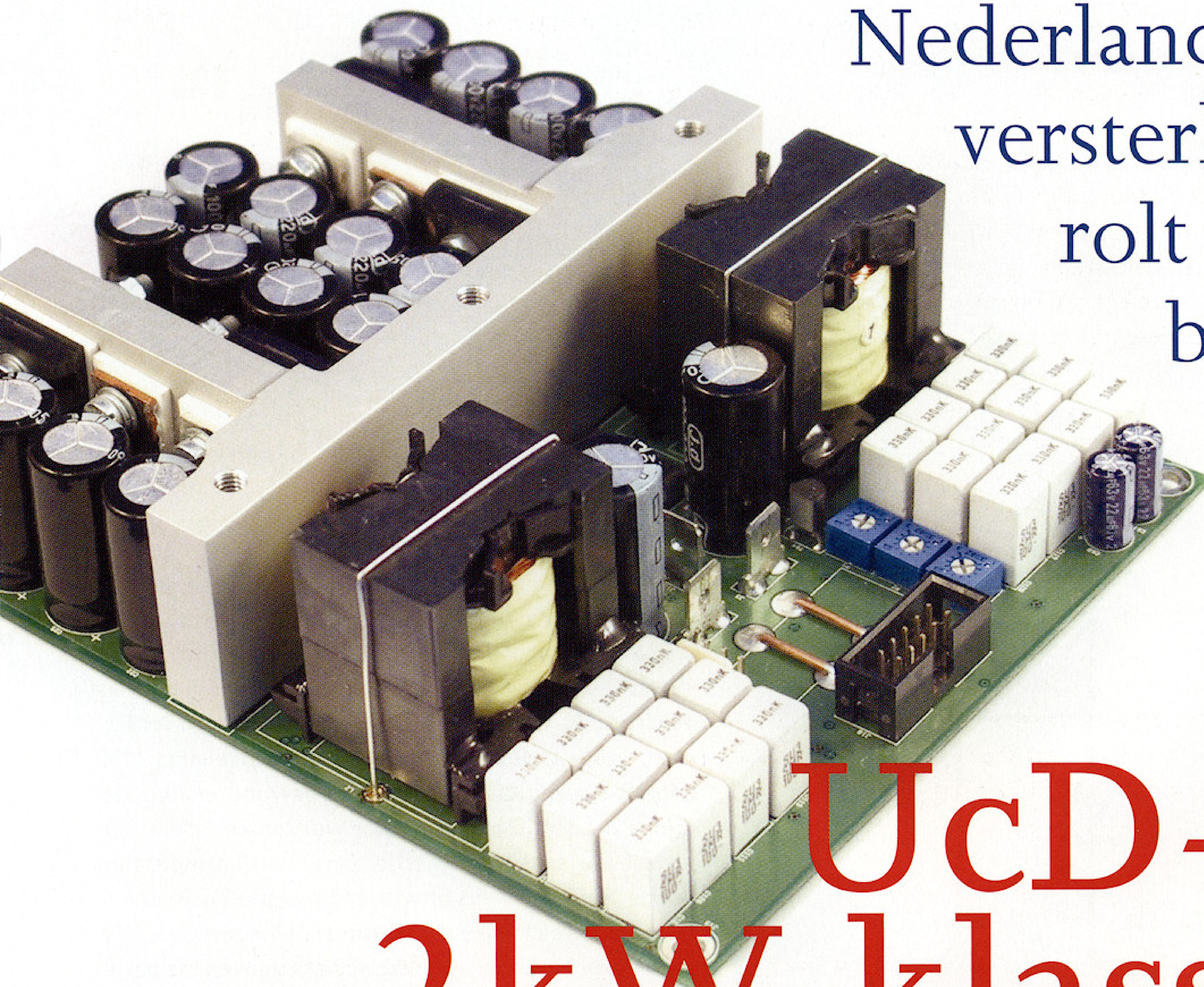
Voor meer informatie:
http://www.hypex.nl











Nederlandse versterkerbouwer rolt met spierballen.

UcD-2k, 2kW klasse D

DOOR BRUNO PUTZEYS

De nieuwste trend in PA heet Line Array. Men denke daarbij aan een stapel platte, brede luidsprekers die in een boog op elkaar gestapeld worden en bovenaan het podium gehangen worden. Om een optimale controle over de afstraling te krijgen, bouwen fabrikanten vaker en vaker hele actieve DSP systemen in de afzonderlijke speakers. Gangbare vermogens zijn 2kW voor het laag en een paar honderd watts in het midden en het hoog. Met de UcD2k doet Hypex een frontale aanval op deze markt. Deze module is een gebrugde versie van de UcD700 module met aangepaste MOSFETs en forsere uitgangsspoelen, prima geschikt dus voor de combinatie van pakweg 2 kW en 500 W kanalen op één voeding.

Met twaalf op één koelblok

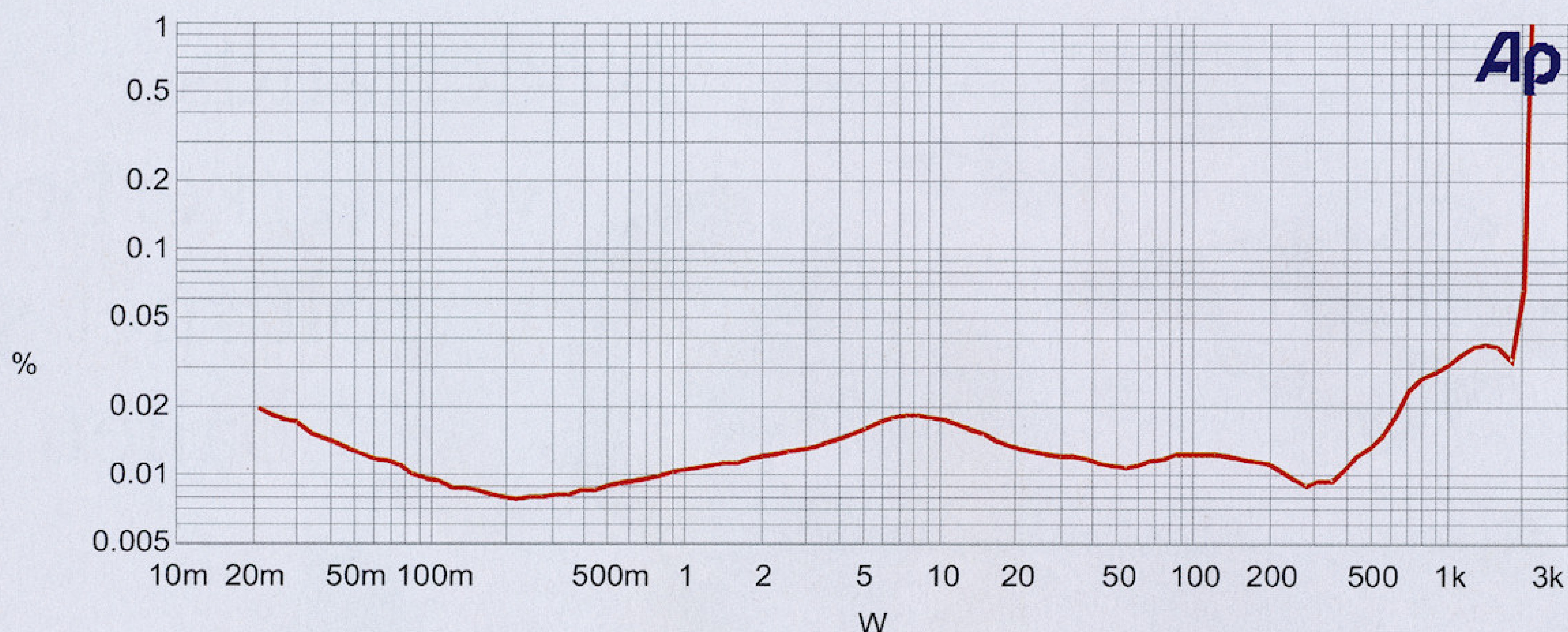
Het koelblok is uitgevoerd in "pi" vorm. Op elk van de twee benen zitten twee MOSFETs en vier diodes.

De serie- en antiparalleldiodes zorgen ervoor dat de inwendige diode van de MOSFET nooit in geleiding kan komen. Bij zware FETs is die nogal traag. De fabrikant van de gebruikte FET geeft een herstellading van 430 nC op. Bij gemiddeld 300 kHz en twee recoverende FETs (één aan elke halve brug) mogen we dus rekenen op zo'n 260 mA extra stroomafname uit de voeding. Bij een voedingsspanning van +/-75 V is dat 40 W aan zuivere schakelverliezen. Vandaar de extra diodes. De geleidingsverliezen in de diodes zijn stukken lager.

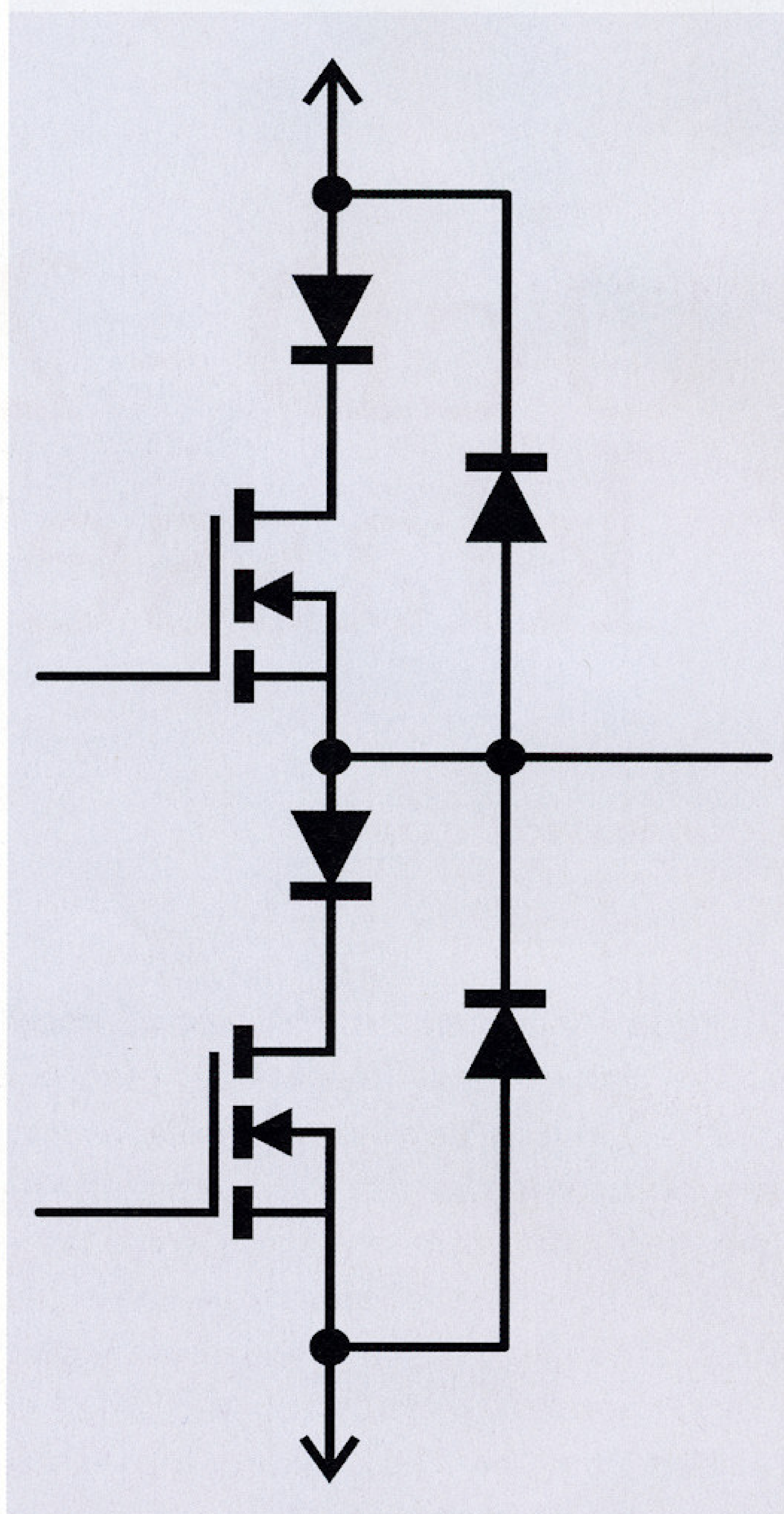
De uitwendige koeling maakt enkel contact met de dwarsbalk van de "pi". Van de twee benen is bovenaan één millimeter weggefreesd om te voorkomen dat er direct contact met de uitwendige koeling ontstaat. Dat is een EMC maatregel – de dwarsbalk is het "HF koude" stuk van het koelblok. De koeling zelf komt deze ingreep allezins niet ten goede. Niettemin blijkt de versterker met een normale externe koeling prima in staat om onbeperkt 1.6 kW te kunnen leveren zonder dat er ook maar één halfgeleider heter wordt dan 100°C.

Uitgangsfilter

Het uitgangsfilter bestaat per kant uit een 5 uH spoel en een 4 uF condensator. Die 5 uH krijgt in rust een 380



Figuur 1
Vervorming aan 2 ohm



Figuur 2
Halve brug met stroomstuurdiodes

kHz blokspanning van 190 V piek-piek te verwerken. In rust loopt er dus al een driehoeksgolf van 12,5 A piek! Kern- en koperverliezen worden dus belangrijk. Het ontwerp van uitgangsspoelen wordt lastiger naarmate het vermogen toeneemt. Bij gelijkblijvende afsnijfrequentie gaat het ferrietvolume recht evenredig met het vermogen van de versterker, maar intussen vergroot de oppervlakte, en dus de koeling, slechts met een tweederde macht. Bij een zware versterker wordt het ontwerp van de spoel verhoudingsgewijs een stuk kritischer. Hypex zweert bovendien bij gesloten ferrietspoelen – toroïdes vinden er in verband met het uitwendige strooiveld en elektrostatische koppeling weinig genade. Bij vermogens tot 100 W kan je met vol koperdraad een prima spoel wikkelen. Tot pakweg 700 W kom je met een foliewikkeling weg, maar daarboven worden de wervelstroomverliezen in de koperfolie de grootste verliespost. In de UcD2k wordt zware vermogenlitze (420 aders!) ingezet. Litzedraad is niet gewoon een bundel dunne draden in parallel. Eerst worden een klein aantal draden samen getwist, daarna worden meerdere dunne bundels samen getwist enzoverder. De hoogfrequentverliezen in elke spoel komen op ongeveer 2,5 W, precies de helft van wat deze spoel mag wegdissiperen bij niet-geforceerde koeling. De andere helft is gereserveerd voor ohmse verliezen bij vollast, wat ook net lukt.

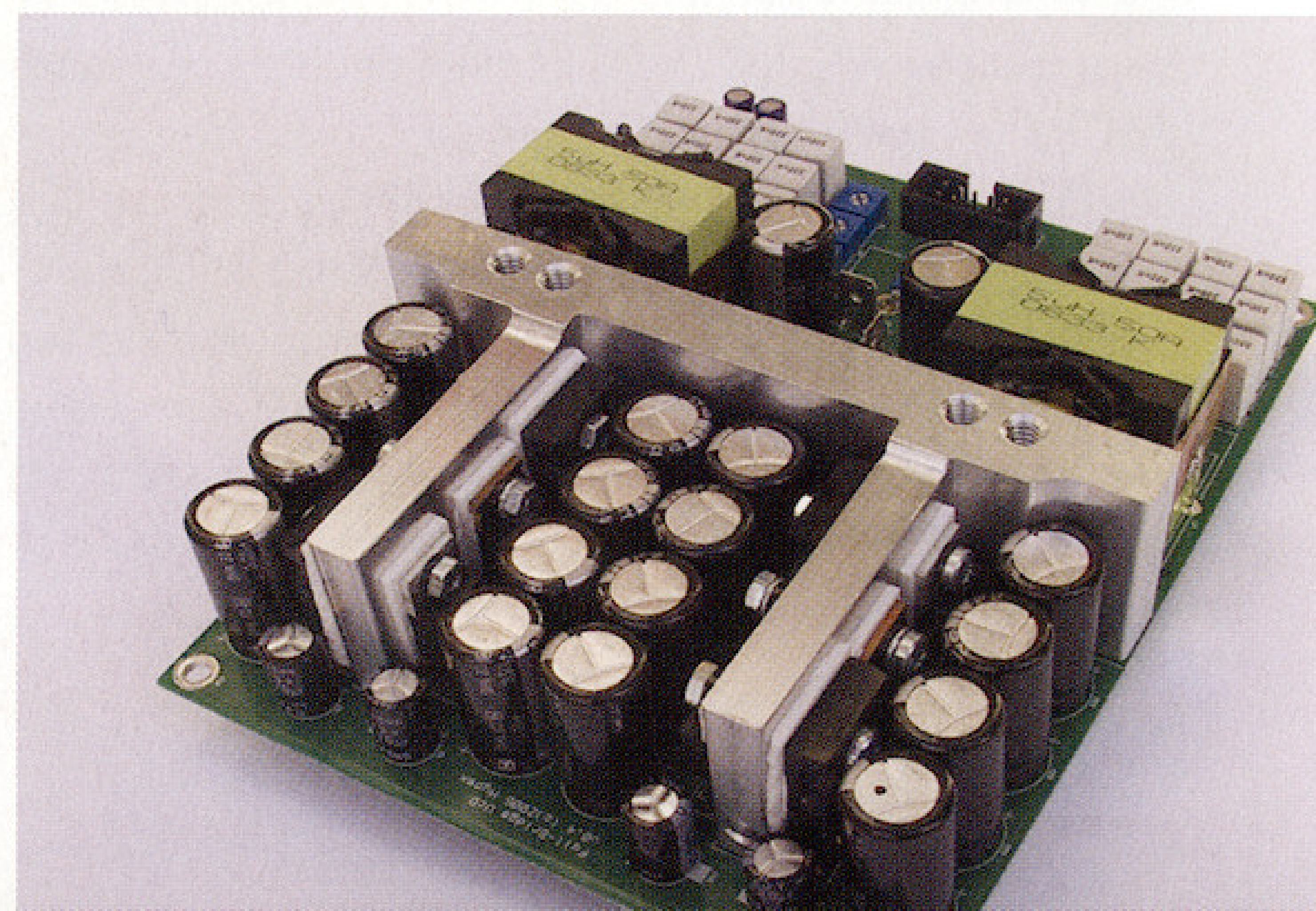
De uitgangscondensator is een bank van twaalf 330 nF MKT condensatoren. De parallelschakeling vermindert de parasitaire zelfinductie merkelijk: behalve het ene LC uitgangsfilter is er geen andere EMC maatregel in de uitgang te bekennen.

Metingen

Hoewel de vervorming van de versterker iets minder goed is als die van de UcD700 waar hij van afgeleid is, is ze nog steeds maar een tiende van die van andere klasse D versterkers met een vergelijkbaar vermogen.

De 2kW specificatie is trouwens vrij conservatief en houdt rekening met het inzakken van een betrekkelijk slappe ongeregelde voeding. Met een voldoende strakke voeding kan de versterker zowel aan 2 ohm als 4 ohm meer dan 3 kW leveren.

Voor meer informatie: http://www.hypex.nl



Losse nummerprijs :

Nederland	€ 7,95
België	€ 7,95

Abonnementen: Riet Maussen
e-mail: abonnementen@elektor.nl

Bestellingen/verkoop: Nicolle vd Bosch
e-mail: verkoop@elektor.nl

Standaard-jaarabonnement

Nederland:		€ 78,00
België:		€ 80,00
buitenland:		
priority-mail	Europa	€ 118,00
	buiten Europa	€ 152,00
standard-mail	Europa	€ 104,00
	buiten Europa	€ 124,00
studie-abonnement		-/- 20%
CJP-abonnement		-/- 10%

ABO-PLUS-jaarabonnement

Nederland:		€ 90,50
België:		€ 92,50
buitenland:		
luchtpost	Europa	€ 130,50
	buiten Europa	€ 165,00
surface-mail	Europa	€ 116,50
	buiten Europa	€ 136,50
studie-abonnement		-/- 20%
CJP-abonnement		-/- 10%

Een abonnement kan op ieder gewenst tijdstip ingaan en loopt automatisch door, tenzij het 2 maanden voor de vervaldatum schriftelijk is opgezegd. De snelste en goedkoopste manier om een nieuw abonnement op te geven is die via de antwoordkaart in dit blad. Reeds verschenen nummers op aanvraag leverbaar (huidige losse-nummerprijs geldt).

Adreswijzigingen s.v.p. minstens 3 weken van tevoren opgeven met vermelding van oude en nieuwe adres en het abonneenummer.
De afdeling klantenservice is bereikbaar: maandag t/m donderdag van 08.30 tot 17.00 uur, vrijdag van 08.30 tot 12.30 uur

Voor al uw vragen over abonnementen, kunt u deze afdeling bellen onder nummer 046 - 4389424.

Voor bestellingen belt u : 046-4389414

Voor het afhandelen van uw abonnement of bestelling vraagt Uitgeversmaatschappij Segment uw persoonsgegevens. Het klantenbestand van Segment is als persoonsregistratie aangemeld bij het College Bescherming Persoonsgegevens onder nr. M 1024093.

De door u verstrekte gegevens kunnen gebruikt worden om u te informeren over relevante diensten en producten. Stelt u daar geen prijs op, dan kunt u dit doorgeven aan: Elektor International Media BV, Afdeling Lezersmarkt, Postbus 11, 6114 ZG Susteren.

Prijswijzigingen voorbehouden.

COLOFON

Elektor Audio Special December 2008

Elektor wil mensen inspireren om zich elektronica eigen te maken door het presenteren van bouwbeschrijvingen en door het signaleren van ontwikkelingen in de elektronica en technische informatica.

Elektor is een uitgave van Elektor International Media BV
Allee 1, Limbricht
Postbus 11, 6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46-4389444,
Fax +31 (0)46-4370161

Elektor verschijnt elf maal per jaar, in juli/augustus verschijnt een dubbelnummer.
Onder de naam Elektor verschijnen Engelstalige, Franstalige en Duitstalige edities. Elektor is in meer dan 50 landen verkrijgbaar.

Internationaal hoofdredacteur:
Wisse Hettinga

Redactie Elektor Special:
Femke van der Putten,
ir. Menno van der Veen (freelance),
ir. Sander Sassen (freelance)

Redactie:
Harry Baggen (hoofdred.),
Thijs Beckers (redactie@elektor.nl)

Internationale redactie:
Jan Buiting, Ernst Krempelsauer, Jens Nickel, Clemens Valens

Redactiesecretariaat:
Hedwig Hennekens

Technische redactie:
Ton Giesberts, Antoine Authier, Luc Lemmens, Christian Vossen

Vormgeving:
Option One, Amsterdam

Directeur:
Paul Snakkers

Uitgever Elektor Special:
Ferdinand te Walvaart

Marketing:
Carlo van Nistelrooy

Hoofd klantenservice:
Anouska van Ginkel

Abonnementen:
Riet Maussen
(abonnementen@elektor.nl)
Tel. 046-4389424

Bestellingen:
Nicolle v.d. Bosch
(verkoop@elektor.nl)
Tel. 046-4389414

Hoofd advertentieverkoop:
Frank van de Raadt
(advertenties@elektor.nl)
Tel. 046-4389444

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewezen gedeponeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewezen is op aanvraag kostenloos verkrijgbaar.

Druk: Printec Offset, Kassel (D)
Distributie: Betapress, Gilze

HOI® 2008 PRINT